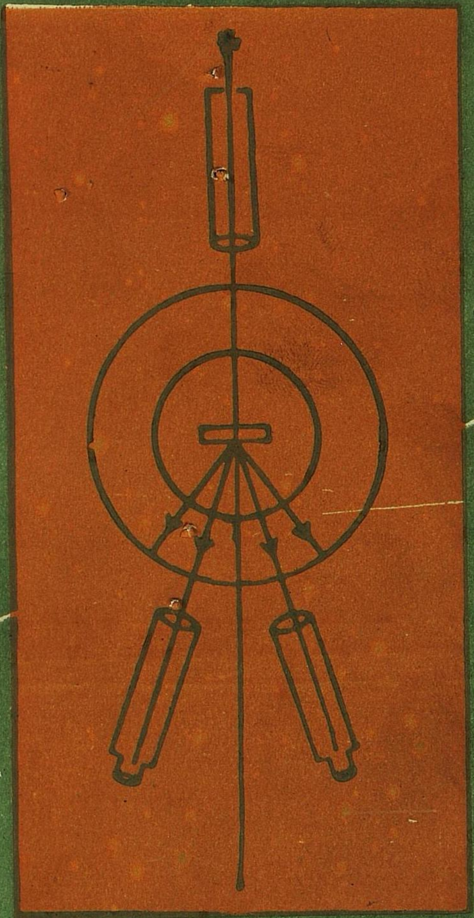
இயற்பியல்

தொகுதி I

மேல் நிலை - இரண்டாம் ஆண்டு



தமிழ்நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனம்

இயற்பியல்

தொகுதி I

மேல் நிலை—இரண்டாம் ஆண்டு

தமிழ்நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனம்
சென்னை

© தமிழ்நாட்டு அரசு

திருத்திய பதிப்பு—1980
மறுபதிப்பு—1982

பதிப்பாசிரியர் குழுத் தலைவர்
(& மதிப்புரையாளர்) :

டாக்டர் பி. **திருஞானசம்பந்தம்,**
இயற்பியல் முதன்மைப்
பேராசிரியர், மாநிலக் கல்லூரி,
சென்னை-600 005

ஆசிரியர்கள் :

திரு. எம்.எஸ். **கோவிந்தராஜன்,**
இயற்பியல் விரிவுரையாளர்,
அண்ணாமலைப் பல்கலைக் கழகம்,
அண்ணாமலை நகர்.

திரு. டி. **ஜெயராமன்,**
இயற்பியல் பேராசிரியர்,
தியாகராஜர் கல்லூரி, மதுரை.

செல்வி **அம்மு மாத்யூ,**
இயற்பியல் பேராசிரியை,
மகளிர் கிறித்தவக் கல்லூரி,
சென்னை - 600 006.

திரு. **கே. பி. ரத்தினம்,**
இயற்பியல் பேராசிரியர்,
அரசு மருத்துவக் கல்லூரி,
கோயம்புத்தூர்.

திரு. **வி. சீனிவாசன்,**
இயற்பியல் பேராசிரியர்,
அமெரிக்கன் கல்லூரி, மதுரை.

திருமதி. **கே. விமலாதேவி,**
இயற்பியல் பேராசிரியை,
ராணி மேரி கல்லூரி,

திரு. **கே. சம்பத்,**
ஓய்வுபெற்ற பேராசிரியர்,
36, நாலாவது தெரு,
அபிராமபுரம்,
சென்னை - 600 028

திரு. **ரா. நாகராஜன்,**
இயற்பியல் உதவிப் பேராசிரியர்,
அரசு கலைக் கல்லூரி,
உதகமண்டலம்.

மொழிபெயர்ப்பாளர்கள் :

திரு. **ரா. நாகராஜன்,**
இயற்பியல் உதவிப்பேராசிரியர்,
அரசு கலைக் கல்லூரி,
உதகமண்டலம்.

திரு. **கே. பி. ரத்தினம்,**
இயற்பியல் பேராசிரியர்,
அரசு மருத்துவக் கல்லூரி,
கோயம்புத்தூர்.

மதிப்புரையாளர்கள் :

திருமதி. **இனாயத்துன்னிசா முனவர்,**
முதல்வர்,
ராணி மேரி கல்லூரி,
சென்னை - 600 004

டாக்டர். **எஸ். ஸ்ரீராமன்,**
ஓய்வுபெற்ற பேராசிரியர்,
கீழச்சாலை,
அம்மன் கோயில் அஞ்சல்.

டாக்டர். **கே. இராமசாமி,**
இயற்பியல் பேராசிரியர்,
சென்னை - 600 004

விலை : ரூ. 3-90

இந்நூல் இந்திய அரசு சலுகை விலையில் வழங்கிய 60 ஜி. எஸ். எம். தாளில் அச்சிடப்பட்டுள்ளது.

அச்சிட்டோர் :

குமரன் ஆப்செட் பிரிண்டர்ஸ் சென்னை-600 001

பொருளடக்கம்

1. அடிப்படை இயற்பியல்

1.1.	இயக்கவியல்	....	1
1.2.	கோள்களின் இயக்கம்	....	14
1.3.	மீட்சியியல்	....	18
1.4	பாகுநிலை	....	26
1.5.	குறையழுத்தங்கள்	....	33
1 6.	ஒலியியல்	....	38

2. வெப்ப இயற்பியல்

2.1.	வாயுக்களின் இயக்கவியற் கொள்கை	....	60
2 2.	வாயுக்களின் செயற்பாங்கு	....	69
2.3	சமவெப்ப நிலை மற்றும் வெப்ப மாற்றீடற்ற நிகழ்வுகள்	....	72
2.4.	வெப்ப இயக்கவியல்	....	77
2.5.	வெப்பம் பரவுதல் — சலனம்	....	83
2.6.	வெப்பம் பரவுதல் — கடத்தல்	....	85
2.7.	வெப்பக் கதிர் வீசல்	....	93
2.8.	கரும்பொருள் நிறமாலையில் ஆற்றல் பங்கீடு	....	103

3. மின்னியலும் காந்தவியலும்

3 1.	நிலை மின்னியல்	....	114
3.2.	மின்னோட்டவியல்	....	125
3 3.	காந்தவியல்	....	136
3.4.	வெப்ப — மின்விளைவுகள்	....	149
3.5.	துணை மின்கலங்கள்	....	158

4. மின்காந்தக் கதிர் வீச்சுகள்

4.1.	மெல்லிய லென்சுகள்	....	166
4.2.	ஒளியின் திசை வேகம்	....	183
4.3.	ஒளியின் இயல்பு	....	188
4.4.	குறுக்கீட்டு விளைவும் விளிம்பு விளைவும்	....	204
4.5.	ஒளியின் தள விளைவு	....	224
4.6.	எக்ஸ்கதிர்கள்	....	232
4.7.	காமாக் கதிர்கள்	....	242
4.8.	மைக்ரோ அலைகள்	....	245
4.9.	ரேடியோ அலைகள்	....	248

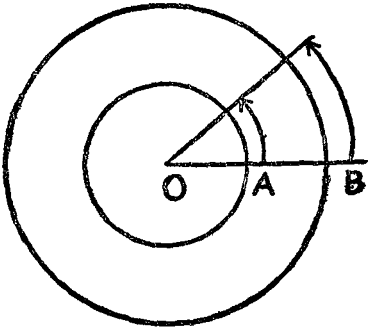
(இந்நூலின் தொடர்ச்சி இரண்டாம் தொகுதியாக வெளியிடப்படுகிறது.)

1. அடிப்படை இயற்பியல்

1. 1. இயக்கவியல்

1. 1. 1. சுழலும் பொருள்களின் இயக்கம்

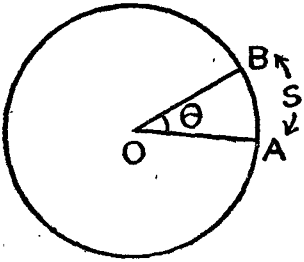
சென்ற ஆண்டு, நேர்கோட்டியக்கம் பெற்ற பொருள்களைப் பற்றி, அதாவது ஒரு நேர்கோட்டில் இயங்கும் பொருள்களைப் பற்றிப் படித்தீர்கள். இங்கு, நிலையான புள்ளி ஒன்றை மையமாகக் கொண்ட வட்டப் பாதை அல்லது வட்டவியல் பாதை ஒன்றின் வழியே இயங்கும் பொருள்களைப்பற்றிக் காண்போம். புவியானது சூரியனைச் சுற்றி ஏறத்தாழ ஒரு வட்டப்பாதையில் இயங்குகிறது. கடிகாரம் ஒன்றின் ஊசல் வட்டவியல் பாதை ஒன்றில் இயங்குகிறது. பொருள் ஒன்று நேர்கோடு ஒன்றின் வழியே இயங்குமாயின், அப் பொருளின் ஒவ்வொரு துகளும் அதே திசைவேகம் அல்லது முடுக்கத்துடன் ஒரு நேர்கோட்டில் இயங்கும். ஆனால், பொருளானது நிலையான புள்ளி ஒன்றைப்பற்றிச் சுழலுமாயின் எந்தவொரு கணத்திலும் அதிலடங்கிய துகள்கள் யாவும் அதே திசை வேகத்தைப் பெற்றிருப்பதில்லை. ஆயினும், துகள்கள் யாவும் அந்த நிலையான புள்ளியைப் பற்றிய ஒரே வேகத்துடன் சுழலுகின்றன. காட்டாக, இசைத்தட்டு ஒன்று சுழலும் போது அதன் விளிம்பிலுள்ள ஒரு புள்ளியானது (B) மையத்திற்கு அருகிலுள்ள ஒரு புள்ளி (A) யைவிட அதிக வேகத்துடன் இயங்குகிறது (படம் 1-1). ஆயினும், அவ்விரு புள்ளிகளும் அதே கால அளவில் வட்டத்தை ஒரு முறை சுற்றி முடிக்கின்றன. அதாவது அவற்றின் சுற்றுக் காலங்கள் சமமாகும். அவை ஒரே **கோணத்திசை வேகத்தைப்** பெற்றிருப்பதாகக் கூறப்படுகின்றன.



படம் 1-1
சுழலும் இசைத்தட்டு

1. 1. 2. கோணத்திசைவேகம் (Angular velocity)

r ஆரம் கொண்ட வட்டப் பாதை ஒன்றின் வழியே ω என்ற சீரான வேகத்துடன் இயங்கும் துகள் ஒன்றைக் கருதுவோம். (படம் 1-2). வட்டத்தின் மையம் O எனவும், ஒரு குறிப்பிட்ட கணத்தில் துகளின் நிலை A எனவும் இருக்கட்டும். துகளை வட்டத்தின் மையத்துடன் இணைக்கும் கோடு ஆரவெக்டார் என அழைக்கப்படுகிறது. துகளானது A-விருந்து B-க்கு இயங்கும்போது ஆரவெக்டார் வட்ட மையத்தில் θ என்ற கோணத்தை அலகிடுகிறது. ஆரவெக்டார் ஒரு செகண்டு காலத்தில் அலகிடும் கோணம் கோணத்திசைவேகம் என அழைக்கப்படுகிறது.



படம் 1-2
வட்ட இயக்கம்

நிலையான புள்ளி ஒன்றைப் பற்றிய ஒரு துகளின் கோணத்திசைவேகம் என்பது அந்த நிலையான புள்ளியில் துகளின் ஆரக்கோடு ஒரு செகண்டில் அலகிடும் கோணம் என வரையறுக்கப்படுகிறது.

படம் 1-2-ல் துகளானது A-விருந்து B-க்கு இயங்குவதற்கான கால அளவு t செகண்டு எனவும் ∠AOB θ எனவும் கொள்வோமாயின்

$$\text{கோணத்திசைவேகம் } \omega = \frac{\theta}{t} \qquad (1)$$

ஆகும்.

கோணத்திசைவேகமானது ரேடியன்/செகண்டு என்ற அலகுகளில் குறிக்கப் பெறுகிறது. ($180^\circ = \pi$ ரேடியன்கள்).

ரேடியன் அலகில் அளவிடப்படும் கோணத்திற்குப் பரிமாணங்கள் எதுவும் கிடையாது. எனவே,

கோணத்திசைவேகத்தின் பரிமாணங்கள் $= T^{-1}$ ஆகும். இக்கருத்தின் அடிப்படையில் கோணத்திசைவேகத்திற்கான அலகை s^{-1} எனவும் குறிப்பிடலாம்.

துகளின் சுழற்சி நேரம், அதாவது, துகள் வட்டத்தை ஒரு முறைச் சுற்றி வருவதற்கான காலம் T எனில் ஆரவெக்டாரானது T கால அளவில் 2π ரேடியன்கள் கோணத்தை அலகிடுகிறது. எனவே,

$$\text{கோணத்திசைவேகம் } \omega = \frac{2\pi}{T} \quad (2)$$

ஆகும்.

கோணத்திசைவேகம் ஒரு வெக்டார் அளவாகும்.

1. 1. 3. கோணத்திசைவேகமும் நேர்கோட்டுத் திசைவேகமும்

துகள் ஒன்று வட்டவியல் பாதை ஒன்றில் இயங்கும்போது எந்தவொரு கணத்திலும் துகளானது அக்கணத்தில் வட்டத்தின் தொடுகோட்டுத் திசையையும் அதன் வேகத்திற்குச் சமமான எண் மதிப்பையும் கொண்டதொரு திசைவேகத்தைக் கொண்டுள்ளது; இத்திசைவேகம் துகளின் நேர்கோட்டுத் திசைவேகம் என அழைக்கப்படுகிறது. கோணத்திசைவேகத்திற்கும் நேர்கோட்டுத் திசைவேகத்திற்கும் உள்ள தொடர்பைப் பின்வருமாறு பெறலாம்.

படம் 1-2-ல் துகளானது t செகண்டுகள் கால அளவில் s என்ற சிறு தொலைவைக் கடப்பதாகக் கொள்வோம். $\angle AOB = \theta$ என்றால்

$\frac{s}{r} = \theta$ ஆகும். (r வட்டவியல் பாதையின் ஆரம்)

$$s = r\theta$$

t ஆல் வகுக்க, $\frac{s}{t} = r\,\frac{\theta}{t}$

ஆனால் $\frac{s}{t}$ என்பது துகளின் நேர்கோட்டுத் திசைவேகம் v ஆகும்.

$\frac{\theta}{t}$ என்பது அதன் கோணத்திசைவேகம் ω ஆகும். எனவே,

$$v = r\omega \quad (3)$$

ஆகும்.

1. 1. 4 நிலைமத் திருப்புதிறன்

நேர்கோட்டியக்கம் பெற்ற பொருளொன்றைப் பொறுத்தவரை அதன் உந்தம், இயக்க ஆற்றல் போன்றவற்றில் பொருளின் நிறையானது முக்கிய பங்கு வகிக்கிறது. ஆனால் சுழலும் பொருட்களைப் பொறுத்தவரை நிறையின் பங்கை நிலைமத் திருப்புதிறன் என்னும் அளவு ஏற்கிறது.

நிலையான அச்சு ஒன்றிலிருந்து r தொலைவில் அமைந்த துகளொன்றின் நிறை m எனில் mr^2 என்னும் அளவு அந்நிலையான

அச்சைப்பற்றிய அத்துகளின் நிலைமத் திருப்புதிறன் என அழைக்கப் படுகிறது.

திண்பொருள் ஒன்று நெருக்கமாகப் பிணைக்கப்பெற்ற பல துகள்களைக் கொண்டுள்ளது. அத்தகைய பல்வேறு துகள்களின் நிறைகள் m_1, m_2, ...எனவும், நிலையான அச்சிலிருந்து அவற்றின் தொலைவுகள் முறையே r_1, r_2....எனவும் இருப்பின் அத் துகள்களின் நிலைமத் திருப்புத்திறன்களின் கூட்டுத் தொகை

$$m_1r_1^2+m_2r_2^2+\ldots\ldots = \Sigma mr^2$$

அந்த நிலையான அச்சைப்பற்றிய திண்பொருளின் நிலைமத் திருப்புதிறன் I ஆகும். அதாவது,

$$I = \Sigma mr^2 \qquad (4)$$

பொருளின் முழு நிறையும் (M) அச்சிலிருந்து k என்னும் தொலைவில் அமைந்த ஒரு புள்ளியில் செறிந்திருப்பதாகக் கொள்வோமாயின் குறிப்பிட்ட அச்சைப்பற்றிய பொருளின் நிலைமத் திருப்புதிறனை

$$I = Mk^2 \qquad (5)$$

என எழுதலாம். k என்பது குறிப்பிட்ட அச்சைப்பற்றிய பொருளின் **சுழற்சி ஆரம்** *என அழைக்கப்பெறுகிறது. ஒரு குறிப்பிட்ட பொருளைப் பொறுத்தவரை அதன் நிறையானது அச்சின் நிலையைப் பொறுத்ததன்று. ஆனால் அதன் சுழற்சி ஆரமோ வெவ்வேறு அச்சுக்களுக்கு வெவ்வேறாக உள்ளது.*

M-க்கான அலகு கிலோகிராம், k-க்கான அலகு மீட்டர் ஆதலால், நிலைமத் திருப்புதிறனுக்கான அலகுகள் **கிலோகிராம் மீட்டர்**^{2} *(கி-மீ^{2}, kg-m^2) ஆகும்.*

நிலைமத் திருப்புத்திறனுக்கான பரிமாணங்கள் ML^2 ஆகும்.

1. 1. 5 நிலைமத் திருப்புதிறன் பற்றிய தேற்றங்கள்

நிலைமத் திருப்புதிறன் பற்றிய இரு தேற்றங்கள் உள்ளன. அவையாவன, இணையச்சுக்களின் தேற்றம் மற்றும் நேர்குத் தச்சுக்களின் தேற்றம் ஆகும். இணையச்சுக்களின் தேற்றமானது பொருளொன்றின் ஈர்ப்புமையம் வழியாகச் செல்லும் ஓர் அச்சு மற்றும் அதற்கிணையான ஓர் அச்சு ஆகியவற்றைப் பற்றிய நிலைமத் திருப்புதிறன்களுக்கிடையான தொடர்பைப் பற்றியது. நேர்குத்தச்சுக்களின் தேற்றமானது தகடு ஒன்றின் ஒன்றுக்கொன்று

நேர்குத்தாயமைந்த அச்சுக்களைப்பற்றிய நிலைமத் திருப்பு திறனைப் பற்றியது.

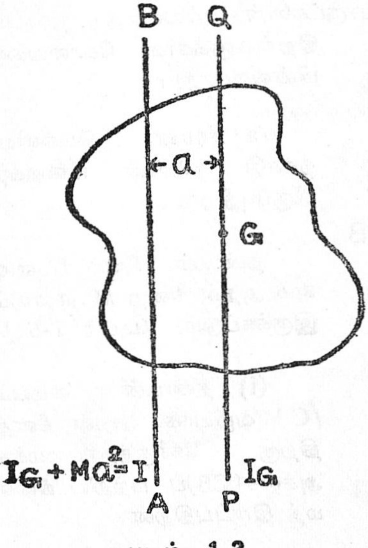
1. 1. 5 (a) இணையச்சுக்களின் தேற்றம்

M நிறையுடைய பொருளொன்றின் ஈர்ப்புமையம் வழியாகச் செல்லும் அச்சைப்பற்றிய நிலைமத் திருப்புதிறன் I_G எனில் அந்த அச்சினின்றும் a தொலைவில் அதற்கு இணையாக அமைந்த அச்சைப்பற்றிய நிலைமத் திருப்புதிறன் $I = I_G + Ma^2$ ஆகும்.

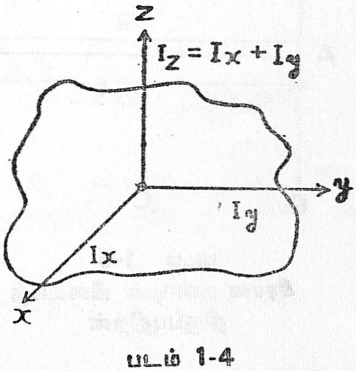
படம் 1-3-ல் PQ என்பது பொருளின் ஈர்ப்புமையம் G வழியாகச் செல்லும் ஓர் அச்சாகும். AB என்பது PQ-க்கு இணையான, அதனின் றும் a தொலைவில் அமைந்த அச்சாகும். I_G என்பது PQ- ஐப்பற் றிய நிலைமத்திருப்புதிறன் எனில் AB யைப்பற்றிய நிலைமத் திருப்புதிறன்

$$I = I_G + Ma^2 \qquad (6)$$

ஆகும்.



படம் 1-3
இணை அச்சுக்கள் தேற்றம்



படம் 1-4
நேர்குத்தச்சுக்களின் தேற்றம்

1. 1. 5. (b) நேர்குத்தச்சுக்களின் தேற்றம்

I_X, I_Y என்பன தகடு ஒன்றின் தளத்தில் ஒன்றுக்கொன்று நேர்குத்தாயமைந்த இரு அச்சுக்களைப்பற்றிய அத்தகட்டின் நிலைமத் திருப்புதிறன்களெனில் அவ்வச்சுக்களின் சந்திவழியே தகட்டின் தளத்திற்கு நேர்குத்தாயமைந்த அச்சுபற்றிய அத்தகட்டின் நிலைமத் திருப்புதிறன் $I_Z = I_X + I_Y$ ஆகும்.

படம் 1-4-ல் X, Y என்பன தகட்டின் தளத்தில் ஒன்றுக்கொன்று நேர்குத்தாயமைந்த அச்சுக்களாகும். Z என்பது X, Yக்கு நேர்குத்தாய் அமைந்ததொரு அச்சாகும். I_X, I_Y, I_Z என்பன முறையே X, Y, Z பற்றிய தகட்டின் நிலைமத் திருப்புதிறன்கள் எனில்

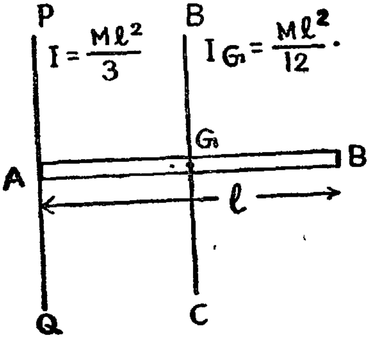
$$I_Z = I_X + I_Y \qquad (7)$$

ஆகும்.

இத் தேற்றமானது தகடுகளுக்கும் பிறபரிமாணங்களை நோக்கக் குறைந்த தடிப்பைக் கொண்டுள்ள தகடு வடிவிலமைந்த பொருள்களுக்கும் மட்டுமே பொருந்தும்.

1. 1. 6. நிலைமத் திருப்புதிறன்களுக்கான கோவைகள்

மெல்லிய தண்டு, செவ்வக வடிவத் தகடு, வளையம் போன்ற எளிய வடிவைக்கொண்ட பொருட்களின் நிலைமத் திருப்புதிறன்களுக்கான கோவைகள் பின்வருமாறு :



படம் 1-5
சீரான தண்டின் நிலைமத் திருப்புதிறன்

(a) சீரான, மெல்லிய தண்டு ஒன்றின் நிலைமத் திருப்புதிறன் :

தண்டின் நீளம் l எனவும் அதன் நிறை M எனவும் இருக்கட்டும். (படம் 1-5.)

(i) தண்டின் மையம் (G) வழியாக அதன் நீளத்திற்கு நேர்குத்தாயமைந்த அச்சை(CB)ப் பற்றிய நிலைமத் திருப்புதிறன்

$$I_G = \frac{Ml^2}{12}$$

ஆகும். (8)

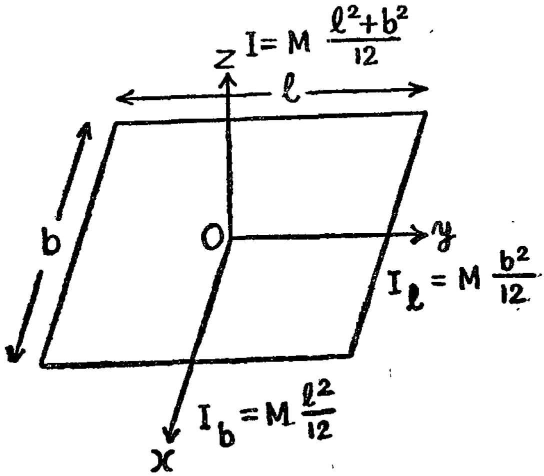
(ii) தண்டின் ஒரு முனை வழியாக அதன் நீளத்திற்கு நேர்குத்தாயமைந்த அச்சை (PQ)ப் பற்றிய நிலைமத் திருப்புதிறன்

$$I = \frac{Ml^2}{3}$$

ஆகும். (8a)

(b) சீரான செவ்வக வடிவத்தகடு ஒன்றின் நிலைமத் திருப்புதிறன்.

தகட்டின் நீளம் l, அகலம் b எனவும் நிறை M எனவும் கொள்வோம். (படம் 1-6)



படம் 1-6

சீரான செவ்வகத்தட்டின் நிலைமத் திருப்புதிறன்

(i) தகட்டின் மையம் (O) வழியாக அதன் நீளத்திற்கு இணையாக அமைந்த அச்சைப் பற்றிய (OY) நிலைமத் திருப்புதிறன்

$$I_l = \frac{Mb^2}{12} \quad (9)$$

ஆகும்.

(ii) தகட்டின் மையம் வழியாக அதன் அகலத்திற்கு இணையாக அமைந்த அச்சை (OX)ப் பற்றிய நிலைமத் திருப்புதிறன்

$$I_b = \frac{Ml^2}{12} \quad (9a)$$

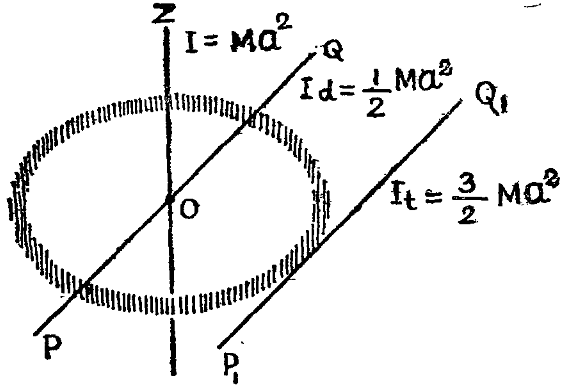
ஆகும்.

(iii) தகட்டின் மையம் வழியாக அதன் தளத்திற்கு நேர் குத்தாயமைந்த அச்சை (Oz)ப் பற்றிய நிலைமத் திருப்புதிறன்

$$I = M\,\frac{l^2 + b^2}{12} \qquad (9b)$$

ஆகும்.

(c) **சீரான வளையம் ஒன்றின் நிலைமைத் திருப்புதிறன்.**



படம் 1-7

சீரான வளையத்தின் நிலைமத் திருப்புதிறன்

வளையத்தின் ஆரம் a எனவும் நிறை M எனவும் கொள்வோம். (படம் 1-7)

(i) வளையத்தின் மையம் (O) வழியாக அதன் தளத்திற்கு நேர்குத்தாயமைந்த அச்சை (OZ)ப் பற்றிய நிலைமத் திருப்புதிறன்

$$I = Ma^2 \qquad (10)$$

ஆகும்.

(ii) வளையத்தின் விட்டம் (PQ) ஒன்றைப் பற்றிய நிலைமத் திருப்புதிறன்

$$I_d = \frac{1}{2} Ma^2 \qquad (10a)$$

ஆகும்.

(iii) வளையத்தின் தொடுகோடு (P_1Q_1) ஒன்றைப் பற்றிய நிலைமத் திருப்புதிறன்

$$I_t = \frac{3}{2} Ma^2 \qquad (10b)$$

ஆகும்.

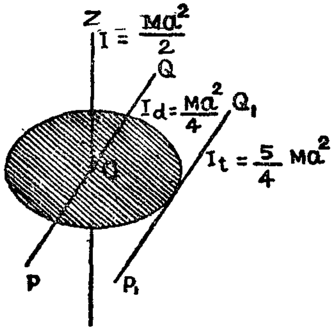
(d) சீரான வட்டத் தட்டு ஒன்றின் நிலைமத் திருப்புதிறன்

தகட்டின் ஆரம் a எனவும் நிறை M எனவும் கொள்வோம். (படம் 1-8).

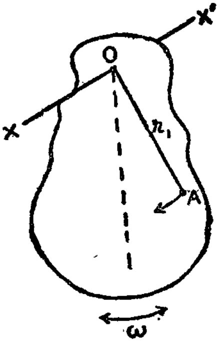
(i) வட்டத் தகட்டின் மையம் (O) வழியாக அதன் தளத்திற்கு நேர்குத்தாயமைந்த அச்சை (OZ)ப் பற்றிய நிலைமத் திருப்புதிறன்

$$I = \frac{Ma^2}{2} \qquad (11)$$

ஆகும்.



படம் 1-8
வட்டத் தட்டின்
நிலைமத் திருப்புதிறன்



படம் 1-9
XOX' அச்சில் சுழலும்
பொருள்

(ii) வட்டத் தட்டின் விட்டம் (PQ) ஒன்றைப் பற்றிய நிலைமத் திருப்புதிறன்

$$I_d = \frac{1}{4} Ma^2 \qquad (11a)$$

ஆகும்,

(iii) வட்டத் தட்டின் தொடு கோடு (P_1Q_1) ஒன்றைப் பற்றிய நிலைமத் திருப்புதிறன்

$$I_t = \frac{5}{4} Ma^2 \qquad (11\,b)$$

ஆகும்.

1. 1. 7 கோண உந்தம்

நேர் கோட்டியக்கத்தில் இயங்கும் பொருளின் முக்கியமானதொரு பண்பு அதன் உந்தமாகும். பொருளொன்று சுழலுமாயின் அதன் கோண உந்தம் முக்கிய பங்கு வகிக்கிறது.

M நிறையுடைய பொருள் ஒன்று XOX' என்ற அச்சைப் பற்றிய ω என்ற கோணத்திசை வேகத்துடன் சுழலுவதாகக் கொள்வோம். (படம் 1-9). அதில் அடங்கிய துகள்கள் யாவும் அதே கோணத்

திசை வேகத்தைத் (ω)ப் பெற்றிருக்கும். ஆயினும் அவற்றின் நேர் கோட்டுத் திசைவேகங்கள் சுழற்சி அச்சிலிருந்து அவற்றின் தொலைவைப் பொறுத்து மாறுபடும்.

சுழற்சி அச்சிலிருந்து r_1 தொலைவிலமைந்த A என்ற துகளின் நிறை m_1 எனக் கொள்வோம். அதன் நேர்கோட்டுத் திசைவேகம் v_1 எனில் $v_1 = r_1\omega$ ஆகும். எனவே, அதன் நேர்கோட்டு உந்தம் $m_1 v_1 = m_1 r_1 \omega$ ஆகும். துகளின் இந்த நேர்கோட்டு உந்தத்தின் சுழற்சி அச்சைப் பற்றிய திருப்புதிறன் துகளின் கோண உந்தம் என அழைக்கப் பெறுகிறது. A என்ற, துகளின், O-ஐப்பற்றிய கோண உந்தம் $= m_1 r_1 \omega \quad r_1 = m_1 r_1^2 \omega$ ஆகும்.

முழுப் பொருளின் கோண உந்தமானது பொருளில் அடங்கியுள்ள எல்லாத் துகள்களின் கோண உந்தங்களின் கூட்டுத் தொகையாகும். எனவே,

$$\text{பொருளின் கோண உந்தம்} = m_1 r_1^2 \omega + m_2 r_2^2 \omega \ldots\ldots$$
$$= \omega \Sigma mr^2$$

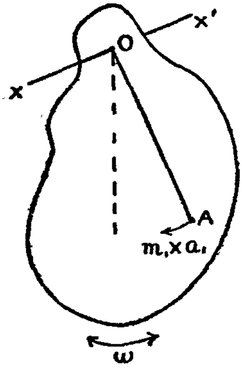
ஆனால் $\Sigma mr^2 =$ பொருளின் சுழற்சி அச்சு பற்றிய நிலைமத் திருப்புதிறன், I ஆகும். எனவே,

$$\text{பொருளின் கோண உந்தம் } p = I\omega \qquad (12)$$

நிலைமத் திருப்புதிறனின் அலகுகள் கிகி மீ^{2} (kg m^2), கோணத்திசை வேகத்தின் அலகு செ$^{-1}$ (s^{-1}) ஆதலால் கோண உந்தத்தின் அலகுகள் கிகி மீ^{2} செ$^{-1}$ (kg $m^2 s^{-1}$) ஆகும்.

கோண உந்தத்தின் பரிமாணங்கள் ML^2T^{-1} ஆகும்.

கோண உந்தம் ஒரு வெக்டார் அளவாகும்.



படம் 1-10

சுழலும் பொருளொன்றின் மீதான திருப்பு விசை

1. 1. 8 சுழலும் பொருளொன்றின் மீதான திருப்புவிசை

XOX' என்ற நிலையான அச்சு ஒன்றைப் பற்றிச் சுழலும் திண்பொருள் ஒன்றைக் கருதுவோம். குறிப்பிட்டதொரு கணத்தில் அதன் கோணத் திசைவேகம் ω என இருக்கட்டும். சுழற்சி அச்சிலிருந்து r_1 தொலைவில் அமைந்த A என்ற துகளின் நிறை m_1 என இருக்கட்டும். (படம் 1-10) அத்துகளின் மீது செயற்படும் விசைகளாவன:

(i) AO வழியே செயற்படும் மையநோக்கு விசை $m_1r_1\omega^2$

(ii) AO-க்கு நேர்குத்துத் திசையில் துகளின் நேர்கோட்டு முடுக்கம் a_1 எனில் அத்திசையில் செயற்படும் $(m_1 \times a_1)$-க்குச் சமமான விசை.

மைய நோக்கு விசையானது சுழற்சி அச்சின் (O) வழியே செல்வதால் O-வைப்பற்றிய அதன் திருப்புதிறன் சுழியாகும். ஆயினும். இரண்டாவது விசையானது O-வைப்பற்றிய திருப்புதிறன் ஒன்றைக் கொண்டுள்ளது, எனவே பொருளை அச்சைப் பற்றிச் சுழற்றுவதில் பயனுள்ளதாக அமைகிறது. பொருளில் அடங்கியுள்ள எல்லாத் துகள்கள் மீதும் செயற்படும் அத்தகைய பயனுறு விசைகளின் சுழற்சி அச்சு பற்றிய திருப்புதிறன்களின் கூட்டுத்தொகை பொருளின் மீதான திருப்பு விசையாகும்.

A யின் மீதான பயனுறு விசை $= m_1 \times a_1$

t என்றதொரு சிறு கால இடைவெளியின் தொடக்கத்திலும் இறுதியிலும் A என்ற துகளின் நேர் கோட்டுத் திசைவேகங்கள் v_0, v_1 எனவும், கோணத் திசைவேகங்கள் முறையே ω_0, ω_1 எனவும் கொள்வோமாயின்

$$a_1 = \frac{v_1 - v_0}{t}$$

$$\text{சமன் (3)-ன்படி } a_1 = \frac{r_1\omega_1 - r_1\omega_0}{t} = \frac{r_1(\omega_1 - \omega_0)}{t}$$

$$\therefore \text{ A-மீதான பயனுறு விசை } = m_1r_1 \frac{(\omega_1 - \omega_0)}{t}$$

$$\text{இவ்விசையின் O-வைப் பற்றிய திருப்புதிறன்} = \frac{m_1r_1\ (\omega_1 - \omega_1) \times r_1}{t}$$

$$= m_1r_1^2\frac{(\omega_1 - \omega_0)}{t}$$

பொருளில் அடங்கிய எல்லாத் துகள்களையும் கருதுவோமாயின் பயனுறு விசைகளின் O வைப் பற்றிய திருப்புதிறன்களின் கூட்டுத் தொகை, அல்லது

$$\text{பொருளின் மீதான திருப்பு விசை } \tau = \Sigma\ m_1r_1^2 \frac{(\omega_1 - \omega_0)}{t}$$

$$= \frac{\omega_1 - \omega_0}{t} \Sigma\, m_1r_1^2$$

அதாவது,

$$\tau = I\frac{(\omega_1-\omega_0)}{t} \quad (13)$$

$$\tau = \frac{I\omega_1-I\omega_0}{t} \quad (14)$$

$$= \frac{\text{கோண உந்த மாறுபாடு}}{t}$$

எனவே, சுழலும் பொருளொன்றின் மீதான திருப்புவிசை (τ) அதன் கோண உந்தம் மாறும் வீதத்திற்குச் சமமாகும்.

மேலும், $\frac{\omega_1-\omega_0}{t}$ கோணத்திசைவேகம் மாறும் வீதம் = கோணமுடுக்கம் (α) ஆகும். எனவே, சுழலும் திண்பொருள் ஒன்றிற்கு.

$$\tau = I\alpha \quad (15)$$

ஆகும். இச்சமன்பாடானது நேர் கோட்டியக்கத்திற்கான F = ma என்ற அடிப்படைச் சமன்பாட்டினை ஒத்ததாகும் இத்திருப்பு விசையானது புறவிசைகளால் செயற்படுத்தப்படுகிறது. படம் 1-10-ல் உள்ள பொருளைப் பொறுத்தவரை இவ்விசைகள் அப் பொருளில் அமைந்துள்ள பல்வேறு துகள்களின் எடைகளாகும்.

1.1.9 கோண உந்த அழிவின்மை

இது நேர்கோட்டு உந்த அழிவின்மையை ஒத்ததாகும். சமன் (14)-ல் $\tau = 0$ எனில்

$$\frac{I\omega_1-I\omega_0}{t} = 0$$

அல்லது $I\omega_1-I\omega_0 = 0$

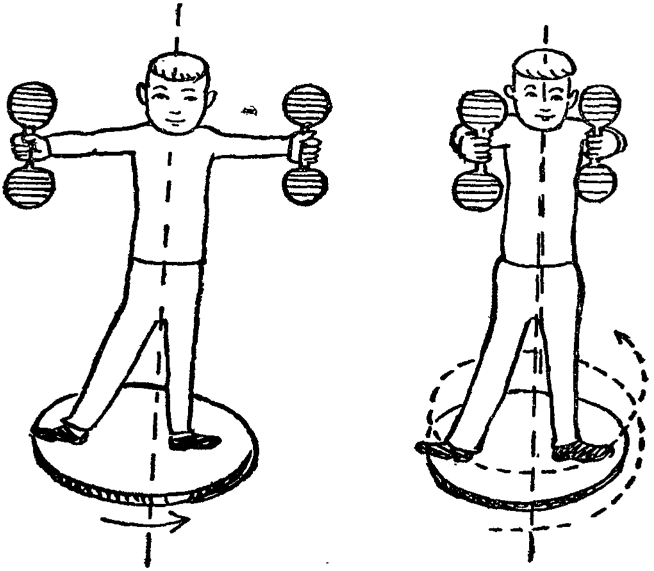
அல்லது $I\omega_1 = I\omega_0$

அதாவது இறுதிக்கோண உந்தம் = தொடக்ககோண உந்தம்.

எனவே, புறத்திருப்பு விசை எதுவும் செயற்படாத நிலையில் சுழலும் பொருள் அல்லது பொருள்களின் தொகுப்பு ஒன்றின் ஒரு அச்சைப்பற்றிய கோண உந்தம் மாறிலியாகும்.

இக்கருத்து கோண உந்த அழிவின்மை விதி என அழைக்கப் பெறுகிறது.

கோணஉந்த அழிவின்மையை விளக்கும் கருத்தைக் கவரும் சோதனை ஒன்று படம் 1-11.ல் விளக்கப்படுகிறது. ஆய்வாளர் ஒருவர் கைகளில் தக்க எடைகளுடன் சுழலும் மேடை ஒன்றின் மீது நிற்கிறார். அவரது கைகளைப் பக்கவாட்டில் நீட்டிய நிலையில் மேடை சுழற்றிவிடப்படுவதாகக் கொள்வோம். மேடையானது உராய்வின்றி சுழலுமாறு அமையுமாயின் அதற்கு அளிக்கப்பட்ட அதே கோணத்திசை வேகம் அல்லது கோண உந்தத்துடன் அது தொடர்ந்து சுழன்று கொண்டிருக்கும். ஆய்வாளர் தமது கைகளை



படம் 1-11

கோண உந்த அழிவின்மையை மெய்ப்பிக்கும் சோதனை

மடக்கிக் கொள்வாராயின் அவரது கோணத்திசைவேகம் கணிசமான அளவு அதிகமாவதைக் காணலாம். இதனைப் பின்வருமாறு விளக்கலாம்: ஆய்வாளர் தமது கைகளை மடக்கும்பொழுது எடைகள் சுழற்சி அச்சுக்கு அருகில் கொண்டுவரப்படுகின்றன. அதன் பயனாய் அவற்றின் நிலைமத் திருப்புதிறன் (I) குறைகிறது. எனவே, கோண உந்தம் ($I\omega$) மாறிலியாய் அமையும் வகையில் கோணத்திசைவேகம் (ω) அதிகமாகிறது. ஆய்வாளர் தனது கைகளை நீட்டுவாராயின் கோணத் திசை வேகம் தொடக்க மதிப்புக்குக் குறையும்.

1-2. கோள்களின் இயக்கம்

1.2 1. முன்னுரை

கோள்கள் மற்றும் பிற வானியல் பொருள்களின் இயக்கமானது தொன்மைக் காலந்தொட்டே மனிதர்களின் கருத்தைக் கவர்ந்து வந்துள்ளது. கி. மு. 2000 ஆண்டளவிலேயே சீனர்கள் முதல் வானியல் பதிவீடுகளைச் செய்துள்ளதாகக் கருதப்படுகிறது. ஆயினும் அவற்றின் இயக்கத்தைப் பற்றிய, ஆல்மாசெஸ்ட் (Almagest) என்ற ஆதாரப் பூர்வமான முதல் ஆய்வுக் கட்டுரை ஒன்றைச் சுமார் கி.பி. இரண்டாம் நூற்றாண்டில் டாலமி (Ptolemy) என்ற அறிஞர் வெளியிட்டார். அக் கட்டுரையின்படி புவியானது நிலையாக அமைந்து, கோள்களையும் விண்மீன்களையும் உள்ளடக்கிய அண்டம் முழுதும் அதனைச் சுற்றிச் சுழல்வதாகக் கருதப்பட்டது. மேலும், கோள்களும் விண்மீன்களும் புவியைச் சுற்றியமைந்த பெரிய வட்டங்களில் வலம் வரும் மையங்களைக் கொண்ட சிறிய வட்டங்களில் சுற்றிவருகின்றன எனவும் அவர் எடுத்துரைத்தார். இக்கருத்தின் அடிப்படையில் நாள்தோறும் காணப் பெறும் வானியல் நிகழ்ச்சிகளை மிகவும் நுட்பமாக அவரால் விளக்க முடிந்தது. அவரது கொள்கையானது சுமார் 1300 ஆண்டு களுக்கும் மேலாக அரசோச்சி வந்தது.

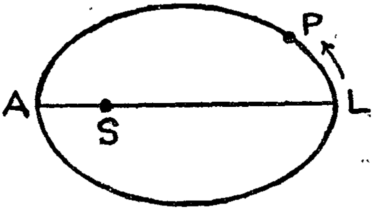
டாலமியின் கருத்தானது முதன் முதலில் 1542-ல் புகழ் மிக்க போலந்து நாட்டுத் துறவியான நிக்கோலாஸ் கோபர்நிகஸ் (Nicolaus Copernicus) என்பவரால் மறுக்கப்பட்டது. கோபர் நிகஸ் கதிரவமையக் கோட்பாட்டை எடுத்துரைத்தார். இக் கோட் பாட்டின்படி, சூரியன் நிலையானதாக அமைந்து, கோள்கள் அதனைச் சுற்றி நுட்பமான வட்டப் பாதைகளில் இயங்குவதாகக் கருதப்பட்டது.

சுமார் 25 ஆண்டுகளுக்குப் பின்னர் டைக்கோ பிராஹெ (Tycho Brahe) என்ற அறிவுசால் வானியலாளர் ஒருவர் கோள் களின் இயக்கம் பற்றிய முறையான பதிவீடுகளை மேற்கொண்டார். ஆயினும், அவரது அளவீடுகளைத் தக்கதொரு கொள்கை வடிவில் அவரால் ஒருங்கிணைக்க முடியவில்லை. அவருக்குப் பின்னர், அவரது துணையாளரும் ஜெர்மன் நாட்டு வானியலாளருமான ஜோஹன் கெப்ளர் (Johann Kepler) என்பவர் அவரது பணியைத் தொடர்ந்து மேற்கொண்டு கோள்களின் இயக்கம் பற்றிய புகழ்மிக்க விதிகளைப் பெறுவதில் வெற்றிகண்டார். அவரது பெயராலேயே அழைக்கப்படும் அவ்விதிகளுள் முதல் இரண்டை 1609-ஆம் ஆண்டிலும், மூன்றாவதை 1619-ஆம் ஆண்டிலும் அவர் பெற்றார்.

1.2.2. கோள்களின் இயக்கம் பற்றிய கெப்ளர் விதிகள்

முதல் விதி : கோள்கள் சூரியனை ஒரு குவியமாகக் கொண்ட நீள் வட்டப் பாதைகளில் இயங்குகின்றன.

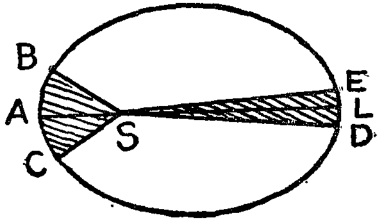
படம் 1-12-ல் நீள் வட்டத்தின் ஒரு குவியத்தில் சூரியன், (S) அமைந்துள்ளது. கோளானது (P) சூரியனைச் சுற்றி நீள்வட்டப் பாதையில் இயங்குகிறது. சூரியனிலிருந்து கோளின் மிகக் குறைந்த தொலைவான AS அண்மைத் தொலைவு (perigee) எனவும் மிக அதிகத் தொலைவான LS சேய்மைத் தொலைவு (apogee) எனவும் அழைக்கப்படுகின்றன.



படம் 1-12
நீள் வட்டப் பாதையில் இயங்கும் கோள்

இரண்டாம் விதி : கோளையும் சூரியனையும் இணைக்கும் நேர்கோடு சமகால அளவுகளில் சமபரப் பளவுகளை அலகிடுகிறது.

படம் 1-13-ல் கோளானது B-லிருந்து C-க்கும், D-லிருந்து E-க்கும் இயங்கும் கால அளவுகளும் BSC, DSE என்ற பரப்பளவுகளும் சமமாகும். B-லிருந்து C-க்கும், D-லிருந்து E-க்குமான வேறுபட்ட தொலைவுகளைச் சமகால அளவுகளில் கடப்பதற்கேற்ப கோளானது அண்மை நிலையில் பெரும் வேகத்தையும், சேய்மை நிலையில் சிறும வேகத்தையும் பெற்றிருக்கவேண்டும்.



படம் 1-13
சமகால அளவுகளில் சம பரப்புக்களை அலகிடல்

மூன்றாம் விதி : கோள்களின் சுற்றுக் காலங்களின் இருமடிகள் சூரியனினின்றும் அவற்றின் தொலைவுகளின் மும்மடிகளுக்கு நேர் விகிதத்திலுள்ளன.

கோளின் சுற்றுக்காலம் என்பது அது சூரியனை ஒருமுறை சுற்றி வருவதற்கான காலம், T ஆகும். சூரியனிலிருந்து கோளின் சராசரித் தொலைவு r எனில்

$$\therefore T^2 \propto r^3$$

அல்லது $$\frac{T^2}{r^3} = \text{மாறிலி} \qquad (1)$$

ஆகும். சூரிய மண்டலத்தைச் சார்ந்த ஒன்பது கோள்களின் சுற்றுக் காலம் (T), சூரியனிலிருந்து அவற்றின் சராசரித் தொலைவு (r), மற்றும் $\left(\frac{T^2}{r^3}\right)$ மதிப்பு ஆகியவற்றைப் பின்வரும் அட்டவணையில் காணலாம். அட்டவணையிலிருந்து $\left(\frac{T^2}{r^3}\right)$ ஒரு மாறிலியாய் அமைவதைக் காணலாம்.

அட்டவணை

கோள்	சுற்றுக்காலம் T ஆண்டுகள் (y)	சராசரித் தொலைவு (r) 10^6 km	$\frac{T^2}{r^3}$ $10^{-25} y^2 km^{-3}$
புதன்	0·241	57·91	2·991
வெள்ளி	0·615	108·21	2·985
புவி	1·000	149·60	2·987
செவ்வாய்	1·881	227·94	2·988
வியாழன்	11·862	778·30	2·985
சனி	29·458	1427·00	2·986
யுரேனஸ்	84·015	2869·00	2·990
நெப்ட்யூன்	164·788	4498·00	2·984
புளூட்டோ	248·400	5900·00	3·004

1. 2. 3. ஈர்ப்பியலைப் பற்றிய நியூட்டன் விதி

கெப்ளர் விதிகளை நுட்பமாக ஆராய்ந்த ஐசக் நியூட்டன் பெருமகனார், (i) கோளின் இயக்கமானது சூரியனை நோக்கிக் கோளின்மீது செயற்படும் மைய விசையின் காரணமாகவே நிகழ்கிறது எனவும் (ii) அவ்விசையானது அவற்றிற்கிடையேயுள்ள தொலைவின் இருமடிக்கு எதிர்விகிதத்திலுள்ளது எனவும்-

(iii) சூரியன் மற்றும் கோள் ஆகியவற்றின் நிறைகளின் பெருக்கற் பலனுக்கு நேர் விகிதத்திலுள்ளது எனவும் நிறுவினார். மேற்காணும் உண்மைகளின் அடிப்படையில் சூரியனைச் சுற்றிய பாதையில் கோளின் இயக்கத்திற்குக் காரணமான விசையானது மரத்திலிருந்து ஆப்பிள் கனியை விழச் செய்யும் அதே விசையே என்ற முடிவினைப் பெற்றார். அத்தகைய முடிவினைப் பெற்ற அவர் 1666-ஆம் ஆண்டில் தமது இருபத்து நான்காவது வயதில் கெப்ளர் விதிகளின் கருத்துகளை ஒன்று திரட்டி ஈர்ப்பியலைப் பற்றிய அவரது புகழ் சான்ற விதியினை வெளியிட்டார். **ஈர்ப்பியலைப் பற்றிய நியூட்டன் விதி** என அழைக்கப் பெறும் அவ்விதியின் படி **அண்டத்திலுள்ள ஒவ்வொரு பருப்பொருள் துகளும் மற்றொரு துகளை அவற்றின் நிறைகளின் பெருக்கற் பலனுக்கு நேர்விகிதத்திலும், அவற்றின் இடையேயுள்ள தொலைவின் இருமடிக்கு எதிர்விகிதத்திலும் அடைந்த விசையுடன் ஈர்க்கிறது.**

அதாவது இரு துகள்களின் நிறைகள் m_1, m_2 எனவும் அவற்றிற் கிடையேயுள்ள தொலைவு r எனவும் கொள்வோமாயின் அவற்றிற் கிடையேயுள்ள

ஈர்ப்பு விசை $$F \propto \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

அல்லது $$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \qquad (2)$$

ஆகும் : G என்பது **ஈர்ப்பியல் மாறிலி** என அழைக்கப்படும் ஒரு மாறிலியாகும். அதன் மதிப்பு $6 \cdot 673 \times 10^{-11}$ N m^2 Kg^{-2} ஆகும். பரிமாணங்கள் M^{-1} L^{-3} T^{-2} ஆகும். விசை, ஈர்ப்பியல் விசை எனப் பெறுகிறது.

நியூட்டன் விதிக்கான காரண காரியங்கள் (a priori reasons) எதுவும் இல்லையாயினும் அதன் அடிப்படையிலமைந்த வானியல் முன்னுரைப்புக்கள் உண்மைக் காட்சியுடன் பெரிதும் உடன்பட்டு அதன் வாய்மையை ஐயமற நிறுவின. இவ்விதியின் அடிப்படை யிலமைந்த முக்கியமானதொரு முன்னுரைப்பு நெப்ட்யூன் என்ற கோளினைப் பற்றியதாகும். 1781-ல் யுரேனஸ் கண்டுபிடிக்கப்பட்ட பின்னர் பத்தொன்பதாம் நூற்றாண்டின் தொடக்கத்தில் அதன் இயக்கத்தில் சில குறைபாடுகள் காணப்பெற்றன- 1845-ல் ஆடம்ஸ் (Adams) என்பவர், ஈர்ப்பியலைப் பற்றிய நியூட்டன் விதி யினைப் பின்பற்றிப் பெறப்பட்ட கொள்கையியல் முடிவுகளின் அடிப்படையில், அதுவரை காணப்படாத மற்றுமொரு கோளானது ஒரு குறிப்பிட்ட இடத்தில் அமையுமாயின் யுரேனஸின் இயக்கத் திலமைந்த குறைபாடுகளை விளக்க முடியும் என எடுத்துரைத்தார்.

லெ வெர்ரியர் (Le Verrier) என்பவரும் அதனையொத்த ஒரு கருத்தை 1846-ல் வெளியிட்டார். 1846-ம் ஆண்டு செப்டம்பர் திங்கள் 23-ஆம் நாள் அத்தகைய கோள் ஒன்று உண்மையிலேயே இருப்பது கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. அதனைக் கண்டு பிடித்த பெருமை கால் (Galle) என்பவரைச் சாரும். அக்கோளே நெப்ட்யூன் ஆகும்.

1. 3. மீட்சியியல் (Elasticity)

1. 3. 1. முன்னுரை

ஒரு பொருளில் இருபுள்ளிகளுக்கிடையேயுள்ள தொலைவைப் புறவிசைகளால், அவை எவ்வளவு பெரியனவாயிருப்பினும், மாற்ற முடியவில்லையாயின் அப்பொருள் திண்பொருள் என அழைக்கப் பெறுகிறது. ஆயினும், நடைமுறையில் எப்பொருளும் முற்றிலும் திண்பொருளாய் அமைவதில்லை. அதாவது நடைமுறையில் எந்த வொரு பொருளும் புறவிசைக்கு உட்படும்போது அதன் நீளம், பருமன் அல்லது வடிவில் மாறுதலடைகிறது. அந்நிலையில் அப் பொருளானது உருக்குலைவு பெற்றுள்ளதாகக் கூறப்படுகிறது. புறவிசைகள் நீக்கப்பெறுமாயின் அப்பொருள் தன் தொடக்க நிலைக்குத் திரும்ப முயலுகிறது. **பொருளொன்றின், உருக்குலை வுக்கும் புறவிசைகள் நீக்கப்படும்பொழுது தன் தொடக்க நிலையை மீண்டும் பெறும் பண்பு, மீட்சியியல் என அழைக்கப்பெறுகிறது.**

புறவிசைகள் நீக்கப் பெற்ற நிலையில் தங்களது தொடக்க நிலையை முற்றிலுமாகப் பெறக்கூடிய பொருள்கள் **முழு மீட்சித்திறம் வாய்ந்தவை** என அழைக்கப்படுகின்றன; தொடக்க நிலையைப் பெறமுயலாத பொருட்கள் **ப்ளாஸ்டிக் பொருள்கள்** என அழைக்கப் பெறுகின்றன. முழு மீட்சித்திறம் வாய்ந்த பொருள்களுக்கான சிறந்த எடுத்துக்காட்டு **குவார்ட்ஸ்** ஆகும்: ப்ளாஸ்டிக் களிமண் (plastic clay) ப்ளாஸ்டிக் பொருள்களுக்கான சிறந்த எடுத்துக் காட்டாகும். நடைமுறையில் எந்தவொரு பொருளும் முழு மீட்சித் திறம் வாய்ந்தது அல்ல: முற்றிலும் ப்ளாஸ்டிக் தன்மை பெற்றதும் அல்ல. ஏனெனில், குவார்ட்ஸ் கூட பெரும் விசைகளுக்குட்படும் பொழுது தன் தொடக்க நிலைக்குத் திரும்புவதில்லை: ப்ளாஸ்டிக் களிமண்ணோ, சிறு உருக்குலைவுகளினின்றும் தொடக்க நிலைக்கு மீள முயற்சிக்கிறது.

1. 3. 2. திரிபும் தகைவும்

புறவிசைகள் பொருளொன்றின்மீது செயற்பட்டு அதனை உருக்குலைவிக்குமாயின் பொருளானது **திரிபு** பெறுவதாகக் கூறப்

படுகிறது. திரிபானது பொருளின் ஒரு பரிமாணத்தில் ஏற்படும் மாறுபாட்டிற்கும், அப் பரிமாணத்தின் தொடக்க அளவுக்குமுள்ள விகிதத்தால் அளவிடப்படுகிறது.

இரு ஒத்த அளவுகளின் விகிதமாக அமையும் திரிபுக்கு பரிமாணங்களோ அலகுகளோ ஏதும் கிடையாது,

பொருளொன்று திரிபு பெறும் பொழுது அதன் துகள்களுக் கிடையே சார்புப் பெயர்ச்சி ஒன்று விளைகிறது. துகள்களின் இச் சார்புப் பெயர்ச்சியின் விளைவாக பொருளின் அகத்தே மீட்பு விசை ஒன்று உருவாகி சார்புப் பெயர்ச்சியை எதிர்த்து, பொருளைத் தொடக்க நிலைக்கு மீட்க முயலுகிறது. இவ்விசையானது, நாம் இரப்பர் இழையொன்றை நீட்ட முயலும்போது நமது கைகள் உணரும் அதே விசையாகும். திரிபு பெற்ற பொருளொன்றில் அதனைத் தொடக்க நிலைக்கு மீட்க முயலும் வகையில் ஓரலகுப் பரப்பில் உருவாகும் அகவிசையானது தகைவு என அழைக்கப் பெறுகிறது. பொருளின் சமநிலையில் அகவியல் மீட்பு விசைகள் உருக்குலைவினை விளைவிக்கும் புறவிசைகளுக்குச் சமமாகவும், எதிராகவும் அமையும். எனவே, தகைவானது பொருளின் ஓரலகுப் பரப்பில் செயற்படுத்தப்படும் புற விசையாக அளவிடப்படுகிறது. தகைவானது ஓரலகுப் பரப்பில் செயற்படும் விசையால் அளவிடப் படுவதால் அழுத்தத்திற்கான பரிமாணங்களைக் ($ML^{-1}T^{-2}$) கொண்டிருப்பதோடு அழுத்தத்திற்கான பாஸ்கல் (Pascal - Pa) எனும் அலகால் (பாஸ்கல் = 1 நியூட்டன் சதுர மீட்டர்) அளவிடப் படுகிறது.

1, 3. 3. மீட்சி எல்லை (Elastic Limit)

பொருளொன்றின் மீது செயற்படுத்தப்படும் தகைவானது சிறிது சிறிதாக அதிகப்படுத்தப்படுமாயின் அதன் ஒரு குறிப்பிட்ட அளவு வரை தகைவு நீக்கப்படும் பொழுது, பொருள் தனது தொடக்க நிலையை முற்றிலுமாகப் பெறும். தகைவு மேலும் அதிகரிக்கப் படுமாயின் பொருள் தனது தொடக்க நிலையை முற்றிலுமாகப் பெறாமல் நிலையானதொரு உருச்சிதைவைப் பெறும். புறவிசைகள் நீக்கப் பெறும் பொழுது பொருளானது தனது தொடக்க நிலையை முற்றிலுமாகப் பெறக்கூடிய தகைவின் பெரும் மதிப்பு மீட்சியல் எல்லை என அழைக்கப்பெறுகிறது.

1. 3. 4. மீட்சிக் குணகம் (Modulus of Elasticity)

மீட்சியல் எல்லைக்குள் ஒரு பொருள் பெறும் திரிபானது செயற் படுத்தப்படும் தகைவுக்கு நேர்விகிதத்தில் உள்ளது என ஹூக்

என்பவர் நிறுவினார். இது ஹூக் விதி என அழைக்கப் பெறு கிறது. இவ் விதியின்படி

$$\frac{\text{தகைவு}}{\text{திரிபு}} = \text{ஒரு மாறிலி}$$

ஆகும். இம்மாறிலியானது பொருளின் மீட்சியியலின் அளவாகும். அது பொருளின் மீட்சிக்குணகம் என அழைக்கப்பெறுகிறது. எனவே, **பொருளொன்றின் மீட்சிக் குணகம் என்பது அதன்மீது செயற் படுத்தப்படும் தகைவுக்கும் அதில் உருவாகும் திரிபுக்கும் உள்ள மாறாத விகிதமென வரையறுக்கப்படுகிறது.** அதாவது,

$$\text{மீட்சிக் குணகம்} = \frac{\text{தகைவு}}{\text{திரிபு}} \text{ ஆகும்.}$$

திரிபுக்குப் பரிமாணங்கள் எதுவும் இல்லையாதலால் மீட்சிக் குணகமும் தகைவின் பரிமாணங்களையே ($ML^{-1}T^{-2}$) பெற்றிருப்ப தோடு அதன் அலகான பாஸ்கல் என்ற அலகாலேயே அளவிடப் படுகிறது.

1. 3. 5 மூவகை மீட்சிக் குணகங்கள்

தகைவினால் விளைவிக்கப்பட்ட திரிபின் தன்மையைப் பொறுத்து மூவகை மீட்சிக் குணகங்கள் உள்ளன.

(a) **யங் குணகம்** (Young's Modulus)

ஒரு முனை பொருத்தப்பட்ட கம்பி ஒன்றின் மறுமுனையில் எடை ஒன்று சேர்க்கப்படுமாயின் அதன் நீளம் அதிகமாகிறது. **கம்பியின் நீளமிகுதிப்பாட்டிற்கும் தொடக்க நீளத்திற்கும் உள்ள விகிதம் நீட்சித்திரிபு என அழைக்கப்படுகிறது. மீட்சித் திரிபினை விளைவிக்கும் தகைவு மீட்சித் தகைவு என அழைக்கப்படுகிறது.**

பொருளொன்றின் மீட்சித் தகைவுக்கும் மீட்சித் திரிபுக்கும் உள்ள விகிதம் யங் குணகம் என அழைக்கப்படுகிறது. அது E என்ற எழுத்தால் குறிக்கப் பெறுகிறது. (q, Y என்ற எழுத்துக்களாலும் குறிக்கப் பெறுவது உண்டு.)

$$\text{யங் குணகம் } (E) = \frac{\text{நீட்சித் தகைவு}}{\text{நீட்சித் திரிபு}}$$

l நீளமும் a குறுக்குப் பரப்பளவும் கொண்ட கம்பி ஒன்று F என்ற நீட்சி விசைக்கு உட்படும்போது, அதன் நீளம் x அளவு அதிக மாவதாகக் கொள்வோமாயின்,

$$\text{நீட்சித் தகைவு} = \frac{F}{a}$$

$$\text{நீட்சித்திரிபு} = \frac{x}{l} \text{ மற்றும்}$$

$$\text{யங் குணகம்} = \frac{F/a}{x/l}$$

$$\text{அல்லது } E = \frac{Fl}{ax} \text{ பாஸ்கல்} \quad (1)$$

ஆகும்.

கம்பியின் ஒருமுனையில் M கிகி எடை ஒன்றைச் சேர்ப்பதன் மூலம் கம்பியானது நீட்டப் பெறுமாயின் நீட்சி விசை Mg நியூட்டன் களாகும்.

(b) பருமக் குணகம் (Bulk Modulus)

பொருளொன்றின் புறப்பரப்பு முழுவதும் சீராகவும், நேர்குத் தாகவும் விசை ஒன்று செயற்படுத்தமாயின் அதன் பருமன் மாறு படுகிறது. **பொருளின் பருமமாறுபாட்டிற்கும், தொடக்கப்பருமனுக் கும் உள்ள விகிதம் பருமத்திரிபு எனவும் அதற்குக் காரணமான தகைவு பருமத்தகைவு எனவும் அழைக்கப்படுகின்றது.**

பொருளொன்றின் பருமத்தகைவுக்கும் பருமத்திரிபுக்கும் உள்ள விகிதம் பருமக் குணகம் என அழைக்கப் பெறுகிறது. அது K என்னும் எழுத்தால் குறிக்கப்படுகிறது.

V பருமனும் a புறப்பரப்பளவும் கொண்ட பொருளொன்று அதன் புறப்பரப்பு முழுதும் சீரானதாகவும் நேர்குத்தாகவும் அமைந்த விசை யொன்றிற்கு உட்படுத்தப்படும் பொழுது அதன் பருமமாற்றம் v எனில்.

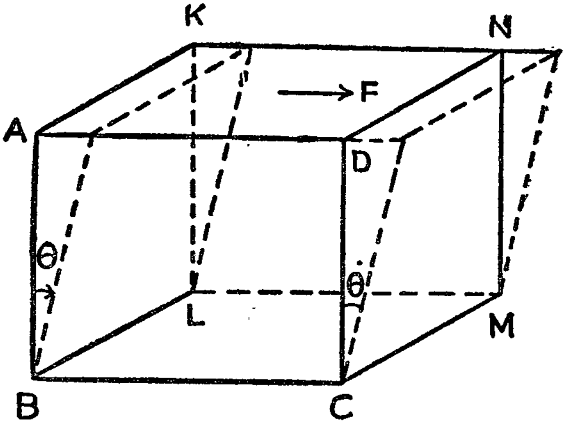
$$\text{பருமக்குணகம்} = \frac{F/a}{v/V}$$

$$\text{அல்லது } K = \frac{FV}{av} \text{ பாஸ்கல்} \quad (2)$$

(c) விறைப்புக்குணகம் (Rigidity Modulus)

இங்கு செயற்படுத்தப்படும் விசைகள் பொருளின் பருமனை மாற்றாமல் அதன் வடிவை மாற்றுகின்றன. ABCDNKLM என்ற திண்கனச் சதுரம் ஒன்றைக் கருதுவோம் (படம் 1-14). அதன் அடிப் பரப்பு, BCML, நிலையாகப் பொருத்தப்பட்டு அதன் ADNK என்ற பரப்பின்மீது F ஒன்ற தொடுவியல் விசை ஒன்று செயற்படுத்தப் படுவதாகவும் கொள்வோம். இவ்விசையானது அவ்விரு பரப்பு களுக்கு இணையாக அமைந்த பொருளின் ஏடுகளை ஒன்றின் மீதொன்று இயங்குமாறு செய்கிறது. எனவே ABLK, DCMN

என்ற இரு பரப்புக்களும் θ கோண அளவு திருப்பப்படுகின்றன. இந்நிலையில் பொருளானது சறுக்குப் பெயர்ச்சித் திரிபு பெறுவதாகக் கூறப்படுகிறது. சறுக்குப் பெயர்ச்சித் திரிபானது தொடக்கத்தில் தொடுவியல் விசைக்கு நேர்குத்தாயமைந்த கோடு ஒன்று திரும்பிய கோணத்தால் அளவிடப்படுகிறது. அதற்குக் காரணமான தகைவு



படம் 1-14
கன சதுரத்தின்மீது தொடுவியல் விசை

சறுக்குப்பெயர்ச்சித் தகைவு எனப்பெறுகிறது. அது ADNK பரப்பின்மீது ஓரலகுப் பரப்பில் செயற்படும் தொடுவியல் விசையால் அளவிடப்படுகிறது.

சறுக்குப்பெயர்ச்சித் தகைவுக்கும், சறுக்குப் பெயர்ச்சிக் கோணத்திற்கும் உள்ள விகிதம் விறைப்புக் குணகம் என அழைக்கப்படுகிறது. அது N எனும் எழுத்தால் குறிக்கப்படுகிறது.

$$\text{விறைப்புக் குணகம் } N = \frac{\text{சறுக்குப் பெயர்ச்சித் தகைவு}}{\text{சறுக்குப் பெயர்ச்சிக் கோணம்}}$$

ADNK பரப்பின் அளவு a எனில்

$$N = \frac{F/a}{\theta}$$

$$\text{அல்லது } N = \frac{F}{a\theta} \text{ பாஸ்கல்} \qquad (3)$$

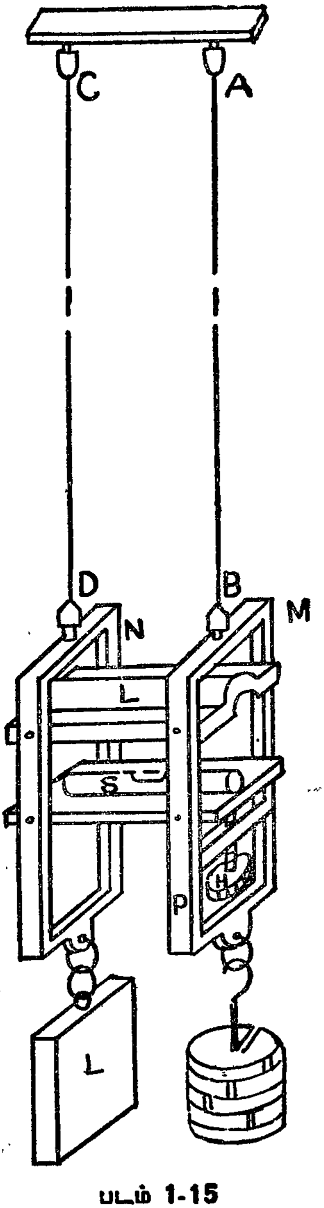
ஆகும்.

மூன்று மீட்சிக் குணகங்களும்

$$\frac{9}{E} = \frac{3}{N} + \frac{1}{K} \qquad (4)$$

என்னும் தொடர்பால் இணைக்கப்பெறுகின்றன.

1.3.6.யங் குணகத்தைக்காணல்-சியர்ள் கருவி (Searle's Apparatus)



படம் 1-15
சியர்ள் கருவி

சியர்ள் கருவியானது படம் 1-15 ல் காட்டியுள்ளவாறு அமைந்த M, N என்ற இரு உலோகச் சட்டங்களைக் கொண்டுள்ளது. அவையிரண்டும் L என்ற சிறிய உலோகச் சட்டம் ஒன்றினால் கீலாணி மூலம் பிணைக்கப்பட்டுள்ளன (hinged). அவற்றிற்கிடையே அமைக்கப்பட்ட ஒரு ரசமட்டத்தின் ஒரு முனை அவற்றுள் ஒன்றில் (N) கீலாணி மூலம் பொருத்தப்பட்டு, மறுமுனையானது அடுத்த சட்டத்திலமைந்த மரையொன்றின் வழியே இயங்கும் திருகாணி ஒன்றின் உச்சியில் அமைந்துள்ளது. திருகாணியின் அடிமுனையுடன் வட்டஅளவு கோல் (H) ஒன்று இணைக்கப்பட்டுள்ளது. இந்த வட்ட அளவுகோலானது மி. மீ. அளவுகள் குறிக்கப்பெற்ற, செங்குத்தான அளவுகோல் (P) ஒன்றின் மீது இயங்குகிறது. செங்குத்து அளவுகோலும் வட்ட அளவுகோலும் நுண்ணளவி ஒன்றின் முறையே புரிக்கோலாகவும், தலைக்கோலாகவும் செயற்படுகின்றன.

M, N என்ற சட்டங்கள் முறையே AB, CD என்ற இரு கம்பிகளின் மூலம் உறுதியாகத் தொங்கவிடப்பட்டுள்ளன. நுண்ணளவியைக் கொண்ட M என்ற சட்டத்துடன் இணைக்கப் பெற்ற AB என்ற கம்பியானது யங் குணகம் காண வேண்டிய, சோதனைக்குரிய கம்பியாகும். CD கம்பியை வளைவுகளின்றி நேராக அமைக்கும் வண்ணம் N என்ற சட்டத்தினின்றும் மாறாத எடை (L) ஒன்று தொங்கவிடப்பட்டுள்ளது. M என்ற சட்டத்திலிருந்து எடைதாங்கி ஒன்று தொங்கவிடப்பட்டுள்ளது.

சோதனையின் தொடக்கத்தில் சோதனைக்குரியகம்பியை நேராக அமைக்கும் வண்ணம் எடைதாங்கியில் தக்க எடைகள் சேர்க்கப் படுகின்றன. எடை தாங்கியின் எடையுடன் கூடிய எடைகளின் மொத்த மதிப்பு பாழ்சுமை (dead load-W) யாகக் கருதப்படுகிறது. மேலும், எடை தாங்கியில் அரைகிலோகிராம் அளவில் மென்மேலும் எடைகளை மூன்று அல்லது நான்கு முறை ஏற்றியும் இறக்கியும் கம்பியானது மீட்சிப்பாங்கினைப் பெறுமாறு செய்யப்படுகிறது.

பளு கி.கி. எடை	நுண்ணளவி அளவீடு (மீ)			M கிகி எடைக் கான நீட்சி (x மீ)
	எடை			
	ஏற்றப்படும் போது	இறக்கப்படும் போது	சராசரி	
W				
W+½				
W+1				
W+1½				
W+2				
W+2½				
W+3				
W+3½				

அதன் பின்னர் பாழ்சுமை ஏற்றப்பட்ட நிலையில் நுண்ணளவித் திருகினைக் கவனமாகத் திருகி ரசமட்டத்தின் குமிழியானது அதன் மையத்தில் அமையுமாறு செய்யப்படுகிறது. புரிக்கோல் மற்றும் தலைக்கோல் அளவீடுகளைக் கண்டு நுண்ணளவியின் மொத்த அள வீடு காணப்படுகிறது. அடுத்து எடைதாங்கியில் அரைகிலோ கிராம் அளவில் படிப்படியாக எடைகளைச் சேர்த்து ஒவ்வொரு முறையும் நுண்ணளவித் திருகின் உதவியால் ரசமட்டத்தைச் சரி செய்தபின் நுண்ணளவியின் அளவீடுகள் காணப்படுகின்றன. பின்னர் அதே வரிசையில் எடைகளை இறக்கி ஒவ்வொரு முறையும்

ாசமட்டத்தைச் சரி செய்தபின் நுண்ணளவியின் அளவீடுகள் காணப்படுகின்றன. அளவீடுகளை அட்டவணையில் காட்டியுள்ள வாறு குறித்து M கி.கி அளவில் வேறுபடும் எடைகளுக்குரிய நுண்ணளவியின் அளவீடுகளுக்கிடையேயான சராசரி வேறுபாடு காணப்படுகிறது. இது எடைதாங்கியில் சேர்க்கப்படும் M கி.கி எடைக்கான அதாவது Mg நியூட்டன் நீட்சி விசைக்கான கம்பியின் சராசரி நீட்சியாகும்.

பாழ் சுமை ஏற்றப்பட்ட நிலையில் கம்பியின் நீளம் (l) அள விடப்படுகிறது. திருகு அளவி ஒன்றின் உதவியால் கம்பியின் வெவ்வேறு இடங்களில் ஆரத்தை அளவிட்டு அதன் சராசரி ஆரம் (r) கணக்கிடப்படுகிறது

$$\text{இனி,} \qquad E = \frac{F\,l}{a\,x}$$

$$\text{அல்லது} \qquad E = \frac{Mg\,l}{\pi r^2 x} \text{ பாஸ்கல்}$$

என்னும் தொடர்பின் உதவியால் கம்பிப்பொருளின் யங் குணகம் கணக்கிடப்படுகிறது.

1. 3. 7. மாதிரிக் கணக்குகள்

1. 2.5 மீட்டர் நீளமும் 0.32 மி மீ. விட்டமும் கொண்ட கம்பி ஒன்று 2 கி கி எடை விசை ஒன்றினால் நீட்டப்படுகிறது. கம்பியின் நீட்சி 3 மி. மீ எனில் கம்பிப் பொருளின் யங் குணகத்தைக் கணக் கிடுக. ($g = 9.8$ மீ/செ^{2}).

கம்பியின் ஆரம் $(r) = 0.16$ மி மீ $= 0.16 \times 10^{-3}$ மீ

கம்பியின் குறுக்குப் பரப்பளவு $(a) = \pi r^2$

$= \pi \times 0.16^2 \times 10^{-6}$ மீ^{2}

கம்பியின் நீளம் $(l) = 2{\cdot}5$ மீ

செயற்படுத்தப்படும் விசை $(F) = 2 \times 9.8$ நியூட்டன்கள்

கம்பியின் நீட்சி $(x) = 3$ மி மீ $= 3 \times 10^{-3}$ மீ.

யங் குணகம் $(E) = \dfrac{F}{a} \cdot \dfrac{l}{x}$

$$= \frac{2 \times 9.8}{\pi \times 0.16^2 \times 10^{-6}} \times \frac{2.5}{3 \times 10^{-3}}$$

∴ யங் குணகம் $= 203.1 \times 10^9$ பாஸ்கல்

$= 203.1$ ஜிகா பாஸ்கல்

$= 203.1$ G Pa (Giga Pascals; Giga$=10^9$)

2. 10 மீட்டர் நீளமும், 1 மி மீ ஆரமும் கொண்ட சீரான கம்பி ஒன்றின் நீளத்தை 5. மி மீ அளவு நீட்ட வேண்டியுள்ளது. கம்பிப் பொருளின் யங் குணகம் 187.2 GPa எனில் தேவையான விசையை கி கி எடை அலகில் கணக்கிடுக.

கம்பியின் நீளம் $l = 10$ மீட்டர்கள்

கம்பியின் ஆரம் $r = 1$ மி.மீ $= 10^{-3}$ மீ

கம்பியின் குறுக்குப் பரப்பளவு $a = \pi \times 10^{-6}$ மீ^{2}

கம்பியின் நீட்சி $x = 5$ மி.மீ $= 5 \times 10^{-3}$ மீ

யங் குணகம் $E = 187{\cdot}2$ G Pa

$= 187.2 \times 10^9$ பாஸ்கல்

தேவையான விசை $F =$ M கி.கி எடை $=$ M $\times 9{\cdot}8$ நியூட்டன்

$$E = \frac{Mg}{a}, \frac{l}{x}$$

$$\therefore M = \frac{Eax}{lg}$$

$$= \frac{187{\cdot}2 \times 10^9 \times \pi \times 10^{-6} \times 5 \times 10^{-3}}{10 \times 9{\cdot}8}$$

∴ M $=$ 30 கி.கி. எடை

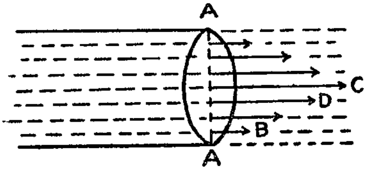
எனவே தேவையான விசை F $=$ 30 கி.கி எடை

1. 4. பாகுநிலை (Viscosity)

1. 4. 1. முன்னுரை

தொட்டி ஒன்றில் அடங்கிய நீரின் வழியே நமது விரல்களை இயக்குவோமாயின் தடை ஒன்றை உணருகிறோம். நீரானது உராய்வு விசை ஒன்றை அளிப்பதை இது குறிக்கிறது. இந்த உராய்வு விசையானது கிளிசரின், விளக்கெண்ணெய் போன்ற திரவங்களில் மிகுதியாக இருக்கும். திரவங்களின் இந்த விசை

யானது **பாகு நிலைவிசை** என அழைக்கப் பெறுகிறது. இது, திரவங்களின் **பாகுநிலை** என்னும் பண்பினால் விளைகிறது. உயவு எண்ணெய்களைப் பொறுத்தவரை இப் பண்பானது கணிசமான நடைமுறை முக்கியத்துவம் வாய்ந்துள்ளது.



படம் 1-16
குழாயுள் சீராகச் செல்லும் திரவம்

ஒரு திரவம் குழாய் ஒன்றின் வழியே மெதுவாகவும் சீராகவும் செல்லுமாயின் (படம் 1-16) குழாயின் சுவர்களுடன் தொடர்பு கொண்ட திரவ ஏடு, A, ஏறத்தாழ ஓய்வி லிருக்கும். அதன் அச்சு (C) வழியே அமைந்த திரவமோ பெருமத் திசைவேகத்தைப் பெற்றிருக்கும். A-க்கும் C-க்கும் இடையே அமைந்த திரவ ஏடுகள் தொடர்ந்து அதிகமாகும் திசைவேகங்களைக் கொண்டுள்ளன. படம் 1-16 குழாய் வழியே செல்லும் திரவத் தம்பம் ஒன்றின், குழாயின் அச்சு அடங்கிய தளத்திலமைந்த வெட்டுப் பரப்பாகும். அம்புகளின் நீளங்கள், A முதல் C வரையிலடங்கிய, ஏடுகளின் தொடர்ந்து அதிகமாகும் திசைவேகங்களைக் குறிக்கின்றன. இத்தகைய மாறுபட்ட திசைவேகங்களின் விளைவாக Aக்கும் Cக்கும் இடையேயமைந்த வெவ்வேறு திரவ ஏடுகள் ஒன்றின் மீதொன்றாக இயங்குகின்றன. இந் நிலையில் திடப்பொருள் ஒன்று மற்றொரு திடப்பொருளின் மீது இயங்கும்போது நிகழ்வது போன்று மாறுபட்ட திசைவேகங்களின் காரணமாக இரு திரவ ஏடுகளுக்கிடையே உராய்வு விசை ஒன்று செயற்படுகிறது.

1. 4. 2. பாகியல் எண் (Coefficient of Viscosity)

பாகுநிலை விசையானது

(i) தொடர்பு கொண்ட திரவ **ஏடுகளின் பொதுப்பரப்** பளவுக்கு நேர்விகிதத்திலுள்ளது ;

(ii) அவற்றின் சார்புத் திசைவேகத்திற்கு **நேர் விகிதத்தி** லுள்ளது ;

(iii) அவற்றிற்கிடையே**யுள்ள தொலைவுக்கு எதிர் விகிதத்தி** லுள்ளது

என நியூட்டன் நிறுவினார்.

படம் 1-16-ல் B, D ஆகிய திரவ ஏடுகளின் பொதுப்பரப்பளவு A எனவும் அவற்றின் திசைவேகங்கள் முறையே v_2, v_1 எனவும் அவற்றிற்கிடையேயுள்ள தொலைவு x எனவும் கொள்வோமாயின்

பாகுநிலை விசை $$F \propto A$$
$$\propto v_1 - v_2$$
$$\propto \frac{1}{x}$$

அல்லது $$F \propto A\frac{v_1 - v_2}{x}$$

அல்லது $$F = \eta A \frac{v_1 - v_2}{x} \qquad (1)$$

ஆகும்; η என்பது திரவத்தின் தன்மையைப் பொறுத்ததொரு மாறிலியாகும்; அது திரவத்தின் பாகியல் எண் என அழைக்கப் படுகிறது. தொடர்பில் $\frac{v_1 - v_2}{x}$ என்பது தொலைவைப் பொறுத்துத் திசைவேகம் மாறும் வீதத்தைக் குறிக்கிறது, அது, **திசைவேக வாட்டம்** என அழைக்கப்படுகிறது. மேலும், இவ் விசையானது திரவ ஏடுகளுக்கு இணையாகச் செயற்படுவதால் அது ஒரு **தொடுவியல் விசையாகும்.**

பாகுநிலை விசைக்கான சமன் (1) லிருந்து பாகியல் எண்ணுக்குரிய வரையறை, அலகுகள் மற்றும் பரிமாணங்களைப் பின் வருமாறு பெறலாம்;

(a) சமன் (1)லிருந்து $$\eta = \frac{F}{A\,\frac{v_1 - v_2}{x}} \qquad (2)$$

ஆகும். சமன் (2)-ல் $A = 1$, $\frac{v_1 - v_2}{x} = 1$ எனில் $F = 1$ ஆகும்

எனவே, ஒரு திரவத்தின் பாகியல் எண் என்பது திரவ ஏட்டின் ஓரலகுப் பரப்பில் செயற்பட்டு, அந்த ஏட்டிற்கு நேர்குத்தாக ஓரலகுத் திசைவேக வாட்டத்தை நிறுவவல்ல தொடுவியல் விசையாகும்.

(b) மேலும் சமன் (2)-ல் F-க்கான அலகு **நியூட்டன்,** A-க்கான அலகு மீட்டர்^{2} ஆகும்; திசைவேக வாட்டம், $\frac{v_1 - v_2}{x}$ -க்கான அலகு

$$\frac{v_1 - v_2}{x} = \frac{\text{மீட்டர்/செகண்டு}}{\text{மீட்டர்}} = \frac{1}{\text{செகண்டு}} = \text{செகண்டு}^{-1}$$ ஆகும். எனவே,

$$\text{பாகியல் எண்ணுக்கான அலகுகள்} = \frac{\text{நியூட்டன்}}{\text{மீட்டர்}^{-2}\text{செகண்டு}^{-1}}$$

$$= \text{நியூட்டன் செகண்டு மீட்டர்}^{-2}$$

($N\ s\ m^{-2}$) ஆகும்.

(c) இனி, சமன் 2-ல் வெவ்வேறு அளவுகளுக்கான பரிமாணங்களைக் கருதுவோமாயின், விசை, F-க்கான பரிமாணங்கள் $= MLT^{-2}$; பரப்பளவு A-க்கான பரிமாணங்கள் $= L^2$, திசைவேக வாட்டத்திற்கான பரிமாணங்கள் $\left(\frac{v_1 - v_2}{x}\right) = \frac{LT^{-1}}{L} = T^{-1}$ ஆகும். எனவே,

$$\text{பாகியல் எண்ணுக்கான பரிமாணங்கள்} = \frac{MLT^{-2}}{L^2T^{-1}}$$

$$= ML^{-1}T^{-1}$$

ஆகும்.

1. 4. 3. நுண்குழாய் வழியே செல்லும் திரவம் ஒன்றிற்கான ப்வாசொய் (Poiseuille) தொடர்பு

ப்வாசொய் என்பவர் நுண்குழாய் ஒன்றின் வழியே செல்லும் திரவம் ஒன்றின் சீரான இயக்கத்தை ஆராய்ந்து, குழாயின் வழியே ஒரு செகண்டில் பாயும் திரவத்தின் பருமனுக்கான தொடர்பு ஒன்றைப் பெற்றார். அடிப்படை முறையில் அத்தொடர்பினைப் பெறுவதென்பது சற்று சிக்கல் வாய்ந்ததாயிருப்பினும் அதனைப் பரிமாணங்கள் முறையில் பின்வருமாறு எளிதில் பெறலாம் :

திரவம் ஒன்று நுண்குழாய் ஒன்றின் வழியே மெதுவாகச் செல்லும்போது குழாயின் வழியே ஒரு செககண்டில் செல்லும் திரவத்தின் பருமனானது (i) திரவத்தின் பாகியல் எண், η, (ii) நுண்குழாயின் ஆரம், a, மற்றும் (iii) குழாயின் வழியே நிலவும் அழுத்த வாட்டம் ஆகியவற்றைச் சார்ந்துள்ளது; குழாயின் முனைகளுக்கிடையே அழுத்த வேறுபாடு p எனவும், குழாயின் நீளம் l எனவும் கொள்வோமாயின் அழுத்த வாட்டம் $\frac{p}{l}$ ஆகும்.

எனவே, குழாயின் வழியே ஒரு செகண்டில் செல்லும் திரவத்தின் பருமனுக்கான தொடர்பை

$$Q = K \eta^x a^y \left(\frac{p}{l} \right)^z \qquad (3)$$

என எழுதலாம்; K என்பது ஒரு மாறிலியாகும். தொடர்பில் பங்கு பெறும் அளவுகளின் பரிமாணங்களைக் கருதுவோமாயின் ஒரு செகண்டில் செல்லும் திரவத்தின் பருமன், Q-க்கான பரிமாணங்கள் $= L_3T^{-1}$, பாகியல் எண், η-க்கான பரிமாணங்கள் $ML^{-1}T^1$; நீளம் l-க்ககான பரிமாணம் L, p-க்கான பரிமாணங்கள் $= ML^{-1}T^2$ ஆகும். K, மாறிலியாதலால் அதற்குப் பரிமாணங்கள் எதுவும் கிடையாது. எனவே, சமன் 3-லிருந்து

$$L^3T^{-1} = (ML^{-1}T^1)^x L^y \left(\frac{ML^{-1}T^{-2}}{L} \right)^z$$

$$\text{அல்லது } L^3T^{-1} \equiv M^{x+z} L^{-x+y-2z} T^{-x-2z}$$

M,L,T ஆகியவற்றின் மடிப்பெருக்க எண்களைச் சமனிடுவோமாயின்,

$$x + z = 0 \qquad (i)$$

$$-x + y - 2z = 3 \qquad (ii)$$

$$x + 2z = 1 \qquad (iii)$$

மேற்காணும் சமன்பாடுகளுக்குத் தீர்வு காண்போமாயின் $x = -1, y = 4$ மற்றும் $z = 1$ ஆகும். எனவே, சமன் (3) லிருந்து

$$Q = K \frac{a^4 p}{\eta l}$$

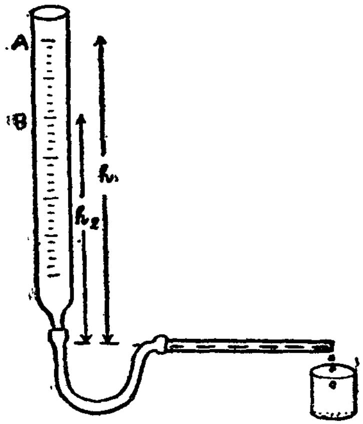
ஆகும். சோதனை முறையில் K-ன் மதிப்பு $\frac{\pi}{8}$ என அறியப் படுகிறது எனவே,

$$\frac{\pi}{8} \quad Q = \frac{\pi}{8} \cdot \frac{pa^4}{l\eta} \qquad (4)$$

ஆகும்.

1. 4. 4. நீரின் பாகியல் எண்ணைக்காணல்

சுமார் 0.30 மீ முதல் 0.40 மீ நீளமும் சுமார் 0.75 மி மீ முதல் 1 மி மீ வரையிலான விட்டமும் கொண்ட நுண்குழாய் ஒன்று செங்குத்தாயமைக்கப்பட்ட, குறியீடு செய்யப் பெற்ற பியூரெட் ஒன்றுடன் இரப்பர்க் குழாய் ஒன்றின் மூலம் இணைக்கப் பட்டுக் கிடைமட்டமாக வைக்கப் படுகிறது. (படம் 1-17). பியூ ரெட் நீரால் நிரப்பப்படுகிறது. பியூரெட்டின் திறப்பானை முற் றிலுமாகத் திறந்து, பியூரெட் டில் நீர்மட்டமானது A என்ற அளவீட்டிலிருந்து B என்ற அள வீட்டிற்கு வருவதற்கான கால அளவு (t) நிறுத்து கடிகாரம் ஒன்றின் உதவியால் காணப் படுகிறது. இரு அளவீடு களுக்கு மிடையேயுள்ள பருமன் V எனில் ஒரு செகண்டில் குழாய் வழியே செல்லும் நீரின் பருமன் $= \frac{V}{t}$



படம் 1-17
பாகியல் எண் காணும் சோதனை

ஆகும். குழாயின் அச்சிலிருந்து A, B அளவீடுகளின் உயரங்கள் (முறையே h_1, h_2) அளவிடப்படுகின்றன. நுண்குழாயின் நீளம், l, ஆரம், a ஆகியவை உரிய நுட்பத்துடன் அளவிடப்படுகின்றன. இந்த அளவீடுகளிலிருந்து நீரின் பாகியல் எண்ணைப் பின்வருமாறு கணக்கிடலாம்:

ρ என்பது நீரின் அடர்த்தி எனில் குழாயின் முனைகளுக்கிடையே அழுத்த வேறுபாட்டின் தொடக்க மதிப்பு $p_1 = h_1 \rho g$ ஆகும். இறுதி மதிப்பு $p_2 = h_2 \rho g$ ஆகும்.

எனவே, சராசரி அழுத்த வேறுபாடு $p = \frac{p_1 + p_2}{2} = \left(\frac{h_1 + h_2}{2}\right)\rho g$

ஆகும், இனி, சமன் (4)-லிருந்து

$$\eta = \left(\frac{\pi p a^4}{8 l Q}\right)$$

$$\text{அல்லது} \quad \eta = \frac{\pi\left(\frac{h_1+h_2}{2}\right)\rho g a^4}{8l\left(\frac{V}{t}\right)}$$

$$\text{அல்லது} \quad \eta = \left(\frac{\pi \rho g a^4}{8lV}\right)\left(\frac{h_1+h_2}{2}\right)t \qquad (5)$$

ஆகும். V ஒரே அளவாக அமையுமாறு A, B ஆகியவற்றின் மதிப்புக்களை மாற்றி சோதனையானது திருப்பிச் செய்யப்படுகிறது.

சமன் (5)-லிருந்து $\left(\frac{h_1+h_2}{2}\right)$ t ஒரு மாறிலியாயிருப்பதைக் காணலாம்.

காட்சிப் பதிவீடுகளைப் பின்வருமாறு அட்டவணைப்படுத்தி $\left(\frac{h_1+h_2}{2}\right)$ t-ன் சராசரி மதிப்பைக் கண்டு: சமன் (5) மூலம் η-மதிப்பு கணக்கிடப்படுகிறது.

அளவீடு		நீர் செல்வதற்கான காலம் செகண்டு t	குழாயிலிருந்து உயரம்		$\left(\frac{h_1+h_2}{2}\right)$	$\left(\frac{h_1+h_2}{2}\right)t$
A	B		A (h_1 மீ)	B (h_2 மீ)		

1.5. குறையழுத்தங்கள்

1.5.1. முன்னுரை

குறையழுத்தங்களின் உருவாக்கம் மற்றும் அளவீடு ஆகியவற்றைப் பற்றிய ஆய்வானது கார்பன் இழை மின்விளக்கு கண்டுபிடிக்கப்பட்ட 1879-ஆம் ஆண்டிலேயே தொடங்கியது எனலாம். அப்போதிருந்து, குறைந்த அழுத்தங்களை உருவாக்கும் முறைகளும் அவற்றை அளவிடும் முறைகளும் அறிவியலின் பல்வேறு துறைகளில் ஏற்பட்ட முன்னேற்றத்துடன் இணைந்து பெருமளவில் முன்னேற்றம் பெற்றன.

10^{-4} மி. மீ பாதரசம் அளவிலான குறைந்த அழுத்தத்தை உருவாக்கக் கூடிய பம்பு ஒன்றை முதன் முதலில் உருவாக்கிய பெருமை கெடெ (Gaede) என்பவரையே சாரும். மேலும், குறைந்த அழுத்தத்தை உருவாக்கவல்ல விரவல் பம்பு ஒன்றை 1915-ல் அவர் உருவாக்கினார். இந்த விரவல் பம்பானது அடுத்து வந்த பிற ஆய்வாளர்களால் மேம்படுத்தப்பட்டு, தற்காலத்தில் 10^{-9} மி. மீ அளவிலான மிகக் குறைந்த அழுத்தங்களை உருவாக்கும் வகையில் சிறந்து விளங்குகிறது, குறையழுத்தமானது அணு இயற்பியல் ஆய்வு மற்றும் எக்ஸ் கதிர்க் குழாய்கள், மின் விளக்குகள், மின் குழாய்கள் ஆகியவற்றின் உற்பத்தி போன்ற பல்வேறு அறிவியல் மற்றும் தொழில் துறைகளில் பெருமளவில் பயன்படுகிறது.

1.5.2. குறையழுத்த உருவாக்கம்

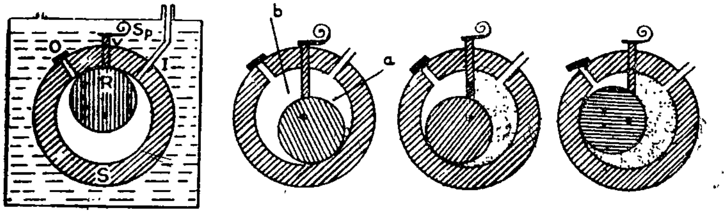
பொதுவாகப் பயன்படும் சுழல்பம்பு ஒன்றைப்பற்றியும் விரவல் பம்பு ஒன்றைப்பற்றியும் இப்பகுதியில் காண்போம்.

(a) சுழல் பம்பு (Rotary Pump)

ஆய்வகங்களில் பெரிதும் பயன்படுத்தப்படும் ஒரு வகைச் சுழல் பம்பு சென்கோ உயர் வெற்றிடப் பம்பு (Cenco Hyvac pump) என அழைக்கப்படுகிறது. அதில் B என்ற உள்ளீடற்ற உருளை ஒன்றினுள் உறழ வட்டமாகச் சுழலக்கூடியவாறு அமைந்த R என்ற கெட்டியான எஃகு உருளை ஒன்று உள்ளது [படம் 1-18 (i)]. உள்ளீடற்ற உருளை நிலைப்பகுதி (stator) எனவும், கெட்டியான உருளை சுழலும் பகுதி (rotor) எனவும் அழைக்கப்படுகின்றன. நிலைப் பகுதியில் I, O என்ற இரு திறப்புக்கள் உள்ளன, அவற்றுள் I, பம்பின் அகவாயாகச் செயற்படுகிறது; அது, அழுத்தம் குறைக்கப்பட வேண்டிய கலத்துடன் இணைக்கப்படும். O என்ற

திறப்பு புறவாயாகச் செயற்படுகிறது ; அது வெளிப் புறமாகத் திறக்கக் கூடிய வால்வு ஒன்றினால் மூடப்பட்டுள்ளது. நிலைப்பகுதியினுள் அமைந்த வெளியிடமானது அகவாய்க்கும் புறவாய்க்கும் இடையே அமைந்த உலோகத் தகடு (V) ஒன்றின் உதவியால் இரு பகுதிகளாகப் பிரிக்கப்படுகிறது. தகடானது S என்ற சுருள்வில் ஒன்றின் உதவியால் எப்பொழுதும் சுழலும் பகுதியுடன் உறுதியாக அழுந்தியிருக்குமாறு செய்யப்பட்டு, இரு பகுதிகளுக்குமிடையே காற்றுக் கசிவு இல்லாதவாறு அமைக்கப்பட்டுள்ளது. மேலும், வேறு காரணங்களால் காற்றுக் கசிவினைத் தவிர்க்கும் வகையில் இந்த முழு அமைப்பும் புறக்கலம் ஒன்றில் உள்ள எண்ணெயில் மூழ்கியிருக்குமாறு அமைக்கப்பட்டுள்ளது-

இந்தப் பம்பு செயற்படும் முறையைப் படம் 1-18-லிருந்து எளிதில் புரிந்துகொள்ளலாம். படம் 1-18-ல் சுழலும் பகுதியின் அடுத்தடுத்த நான்கு நிலைகளைக் காணலாம். முதல் நிலையில்



படம் 1-18
சுழல் பம்பு - வெவ்வேறு நிலைகள்

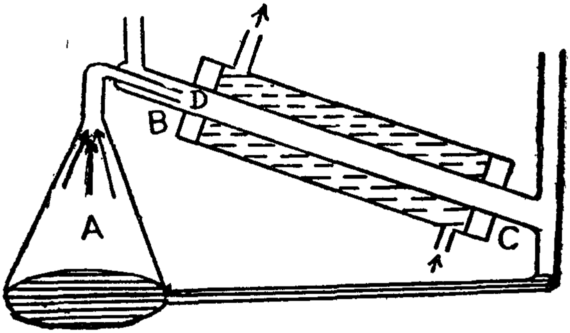
[படம் (i)] நிலைப் பகுதியினுள் அமைந்த வெளியிடமானது கலத்துடன் முற்றிலுமாகத் தொடர்பு கொண்டுள்ளது. சுழலும் பகுதியின் (ii) என்ற நிலையில் அவ் வெளியிடமானது அகவாய்க்கருகில் 'a' எனவும் புறவாய்க்கருகில் 'b' எனவும் அமைந்த இரு பகுதிகளாகப் பிரிக்கப்படுகிறது. சுழலும் பகுதியானது மேலும் சுழலும் போது b பகுதி குறைகிறது [படம் (iii)]. இதன் காரணமாக அப் பகுதியிலுள்ள காற்றானது அதிக அழுத்தம் பெறுவதால் O என்ற வால்வைத் திறந்து வெளியேற்றப்படுகிறது. [படம் (iv)]. இதற்கிடையில் a பகுதியின் பருமன் அதிகமாவதால் அழுத்தம் குறைந்து, காற்றானது கலத்திலிருந்து பம்பினுள் இழுக்கப்படுகிறது. இவ்வாறு இழுக்கப்பட்ட காற்று சுழலும்பகுதியின் அடுத்த சுற்றின்போது வெளியேற்றப் படுகிறது. இவ்வாறாக, இப்பம்பானது கலத்திலிருந்து தொடர்ந்து காற்றை வெளியேற்றுவதால், செயற்படத் தொடங்கிய ஒரு சில நிமிடங்களுக்குள் 10^{-3} மி மீ அளவி

லான மிகக் குறைந்த அழுத்தத்தை உருவாக்கவல்லதாய் அமைகிறது. மேலும், இப் பம்பானது வளியழுத்தத்திலிருந்து நேரடியாகச் செயற்படக்கூடிய அனுகூலத்தையும் பெற்றுள்ளது.

(b) விரவல் பம்பு (Diffusion Pump)

விரவல் பம்புகள் விரவல் விதி ஒன்றை அடிப்படையாகக் கொண்டுள்ளன. அவ்விதியின்படி, **பல வாயுக்களடங்கிய வாயுக்கலவை ஒன்றின் மொத்த அழுத்தம் எதுவாயிருப்பினும் ஒரு வாயுவானது அதன் பகுதியழுத்தம் (Partial Pressure) மிகுந்த பகுதியிலிருந்து பகுதியழுத்தம் குறைந்த பகுதிக்கு விரவிச்செல்லும்.**

விரவல் பம்புகள் வளியழுத்தத்திலிருந்து நேரடியாகச் செயற்பட முடியாது எனவே, அவை செயற்படுவதற்குத் தேவையான 10^{-2} மி. மீ. பாதரச அளவிலான அழுத்தத்தை உருவாக்கவல்ல முன்னோடிப் பம்பு ஒன்று தேவைப்படுகிறது.



படம் 1-19
வாரன் பம்பு

எளியதும், திறன் மிக்கதுமான விரவல் பம்பு ஒன்றைத் தமிழ் நாட்டைச் சேர்ந்த பேராசிரியர் H. பரமேசுவரன் என்பார் 1923-இல் உருவாக்கினார். அது வாரன் பம்பு (Waran Pump) என அழைக்கப்படுகிறது. வாரன் பம்பின் அமைப்பைப் படம் 1-19ல் காணலாம். இதில் உச்சியில் தூம்பு வாய் (D) ஒன்றுடன் கூடிய கூம்பு வடிவக் கலம் (A) ஒன்று உள்ளது. தூம்பு வாயானது BC என்ற அகல

மான குழாயினுள் செல்லுகிறது. BC குழாயின் B முனைக்கருகில் அமைந்த பக்கக் குழாயுடன் வெற்றிடமாக்கப்படவேண்டிய கலம் இணைக்கப்படுகிறது. C முனையில் இரு பக்கக் குழாய்கள் உள்ளன. அவற்றுள் ஒன்று முன்னோடிப் பம்புடனும் மற்றொன்று A கலத்துடனும் இணைக்கப்பட்டுள்ளன. BC குழாயானது நீர் உறை ஒன்றினால் சூழப்பட்டு, உறையின் வழியே குளிர்ந்த நீர் செலுத்தப்பட்டு, குளிர்விக்கப்படுகிறது.

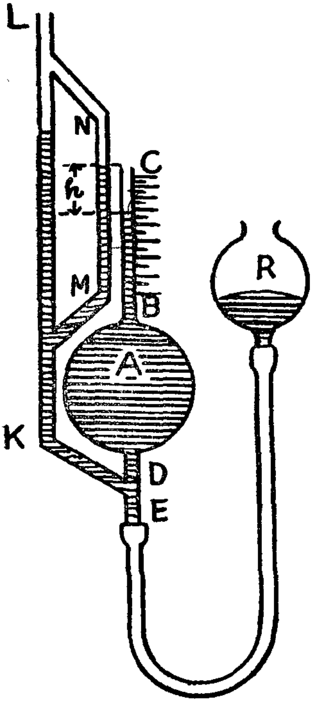
A கலத்தில் பாதரசம் கொதியூட்டப் பெற்று ஆவியாக்கப்படுகிறது. பாதரச ஆவியானது தூம்பு வாய் வழியே C-ஐ நோக்கி வெளியேறி BC-ல் உள்ள காற்றை வெளியேற்றுகிறது. இந்நிலையில் BC-ல், Bக்கு அருகில் காற்றின் அழுத்தமானது வெற்றிடமாக்கப்படவேண்டிய கலத்தினுள் உள்ளதை விடக் குறைவாக இருப்பதால், காற்று கலத்திலிருந்து Bக்கு விரவுகிறது. அவ்வாறு விரவும் காற்றானது பாதரச ஆவியால் C-ஐ நோக்கி எடுத்துச் செல்லப்படுகிறது. இந்நிகழ்ச்சியானது BC-ல் காற்றின் அழுத்தமானது கலத்திலுள்ளதைவிட அதிகமாக அமையும் வரை தொடர்ந்து நிகழ்கிறது. C-ஐ நோக்கிச் செல்லும் பாதரச-காற்றுக் கலவையைக் கருதுவோமாயின், அது C-ஐ அடையுமுன் பாதரச ஆவியானது நீர் உறையின் காரணமாகக் குளிர்விக்கப்பட்டு பாதரசமாக மாறுகிறது. பாதரச ஆவியுடன் விரவிய காற்று முன்னோடிப் பம்பினால் வெளியேற்றப்படுகிறது. குளிர்விக்கப்பட்ட பாதரசமானது மீண்டும் கொதியூட்டப் பெறுவதற்காக A-கலத்தை அடைகிறது.

இந்த விரவல் பம்பானது குறையழுத்தத்தை உருவாக்குவதில் மெதுவாகச் செயற்பட்ட போதிலும் 10^{-7}மி மீ பாதரச அளவிலான மிகக் குறைந்த அழுத்தங்களை உருவாக்கவல்லதாக அமைகிறது. பாதரசத்திற்குப் பதிலாகக் தக்க எண்ணெய்களைப் பயன்படுத்தும் தற்காலத்து விரவல் பம்புகள் 10^{-9}மி மீ பாதரச அளவிலான மிக மிகக் குறைந்த அழுத்தங்களை உருவாக்குகின்றன.

1. 5. 3. குறையழுத்தங்களின் அளவீடு—மக்லியாடு அளவி (McLeod Gauge)

100 மிமீ. முதல் 5மிமீ. பாதரசம் வரையிலான அழுத்தங்களை U குழாய் அழுத்தமானிகளின் உதவியால் அளவிடலாம். 10^{-5}மிமீ பாதரச அளவிலான மிகக் குறைந்த அழுத்தங்களை அளவிட மக்லியாடு அளவி பயன்படுத்தப்படுகிறது.

மக்லியாடு அளவியில் தெரிந்த பருமனுடைய A என்ற குமிழும் அதன் உச்சியில் சீரான துளையுடன் கூடிய, அளவுக் குறியீடு செய்யப் பெற்ற BC என்ற நுண் குழாயும் உள்ளன. [படம்1-20]. நுண் குழாயின் C முனை மூடப்பட்டுள்ளது. A குமிழின் அடிப் பகுதியுடன் DE என்ற குழாய் இணைக்கப் பட்டு, அதன் E முனையானது இரப்பர் குழாய் ஒன்றின் மூல மாகப் பாதரசச் சேமக்கலம் (R) ஒன்றுடன் இணைக்கப்பட் டுள்ளது. குமிழுக்குச் சற்றுக் கீழ் D-ல் அமைந்துள்ள பக்கக் குழாய் ஒன்றுடன் KL என்ற செங்குத்தான பக்கக் குழாய் ஒன்றின் மூலமாக அழுத்தம் அளவிட வேண்டிய கலம் இணைக்கப்படுகிறது. BC-ன் குறுக்குப் பரப்பளவே கொண்ட MN என்ற நுண்குழாய் ஒன்று KL-உடன் இணைக்கப்பட்டு BC க்கு அருகாகவும், இணை யாகவும் அமைக்கப்பட்டுள் ளது.



படம் 1-20
மக்லியாடு அளவி

கலத்தில் அழுத்தத்தை அள விட, குமிழில் பாதரச மட்டம் D-க்குச் சற்றுக் கீழ் வருமாறு சேமக்கலம் தாழ்த்தப்படுகிறது. இந்நிலையில் குமிழானது கலத் துடன்தொடர்புகொண்டு குமிழி னுள் அழுத்தமானது கலத்தினுள் அழுத்தத்திற்கு, அதாவது அள விடப்படவேண்டிய அழுத்தத்திற்குச் சமமாக அமைகிறது, பின்னர் சேமக்கலத்தை உயர்த்தி MN-ல் பாதரச மட்டமானது BC குழாயின் மூடிய முனையான C-உடன் ஒரே மட்டத்தில் அமையுமாறு சரி செய்யப்படுகிறது. இந்நிலையில் தொடக்கத்தில் குமிழில் அமைந்த காற்று அல்லது வாயுவானது BC குழாயில் ஒரு சிறு பருமனை (v)ப் பெறும் வகையில் அமுக்கப்படுகிறது. v பருமனை BC-ல்

உள்ள குறியீடுகளிலிருந்து அறியலாம். MN மற்றும் BC குழாய் களில் பாதரச வட்டங்களின் உயர வேறுபாடு (h) அளவிடப் படுகிறது.

அழுத்தம் பின்வருமாறு கணக்கிடப்படுகிறது: அளவிடப்பட வேண்டிய அழுத்தம் p என இருக்கட்டும். பாதரச மட்டமானது D-க்குச் சற்றுக் கீழ் அமையும்பொழுது குமிழிலும் நுண்குழாயிலும் அமைந்த வாயுவின் அழுத்தம் p ஆகும். அவற்றின் மொத்தப் பருமன் V என இருக்கட்டும். அமுக்கப்பட்டுள்ள நிலையில் வாயு வின் அழுத்தம் (p+h) ஆகும்; பருமன் v ஆகும். எனவே, பாயில் விதிப்படி

$$pV = (p+h)v$$

அல்லது $p(V-v) = hv$

அல்லது $p = \frac{hv}{V-v}$

ஆகும். v ஆனது V-ஐ நோக்கப் புறக்கணிக்கத்தக்கதாய் அமையு மாதலால்

$$p = \frac{hv}{V} \qquad (1)$$

ஆகும். V, v, h ஆகியவற்றை அறிவோமாதலால் p-ஐ கணக் கிட்டுக் கொள்ளலாம்.

1. 6. ஒலியியல்

1. 6. 1. முன்னேறு அலைகள்

ஒலியானது ஊடகம் ஒன்றின் வழியே அலைகள் வடிவில் பரவுகிறது எனச் சென்ற ஆண்டு படித்தீர்கள். உண்மையில் ஒலி பரவுதல் என்றால் என்ன என்பதைப் பற்றி இங்குக் காண்போம்.

எந்தவொரு அதிர்வுறு பொருளும் ஒலி மூலமாகச் செயற்படக் கூடும் என்பதை நாமறிவோம். பொருள் அதிர்வுறும்போது அதன் அண்மையிலுள்ள ஊடகத் துகள்களும் பொருளின் அதிர்வினை யொத்து அதிர்வூட்டப் பெறுகின்றன. ஒரு ஊடகத்தின் துகள்கள் ஏதோ ஒரு வகை மீட்சியல் விசைகளால் இணைக்கப்பட்டுள்ளன. எனவே, ஊடகத்துகள் ஒன்று அதிர்வூட்டப் பெறுமாயின், அது தனித்து அதிர்வுற முடியாமல் அண்மையிலுள்ள பிற துகள்களையும்

அதிர்வூட்டுகிறது. இவ்வாறாக, பொருளின் அதிர்வுகள் ஊடகத்தில் அடுத்தடுத்த துகள்களுக்குக் கடத்தப்பட்டு ஊடகத்தின் வழியே முன்னேறிச் செல்லுகின்றன. உண்மையில் அதிர்வுறு பொருளின் அதிர்வுகளின் இத்தகைய முன்னேற்றமே அலைபரவுதலாகும். அதிர்வியக்கமானது ஒரு துகளினின்றும் அடுத்த துகளுக்கு அதே திசையில் தொடர்ந்து கடத்தப்படுமாயின் அலையானது முன்னேறு அலை என அழைக்கப்படுகிறது. எனவே, **முன்னேறு அலையியக்கம் ஒன்றில் ஒலி மூலத்தின் அதிர்வியக்கமானது ஒலி மூலத்தை மீண்டும் அடையாவண்ணம் ஊடகத்தின் ஒரு துகளிலிருந்து மற்றொரு துகளுக்குத் தொடர்ந்து கடத்தப்படுகிறது; அடுத்தடுத்த துகள்கள் ஒரே மாதிரி அலைவுற்று அதிர்வியக்கத்தைக் கடத்துகின்றன.**

1. 6. 1a. சமதள முன்னேறு அலைகள்

ஓரியல் ஊடகம் ஒன்றில் புள்ளியளவு ஒலி மூலம் ஒன்று அமையுமாயின் அதன் அதிர்வியக்கமானது ஊடகத்தில் எல்லாத் திசைகளிலும் சமமாகப் பரவுகிறது. அத்தகைய அலை ஒன்றில், அதிர்வியக்கத்தைச் சற்றே தொடங்கும் நிலையிலுள்ள எல்லாத் துகள்களும் கோளகப் பரப்பு ஒன்றில் அமையும். அத்தகைய அலை **கோளக அலை** எனப்படுகிறது. ஒலி மூலமானது முடிவிலாத் தொலைவில் அமையுமாயின் ஊடகத்தில் ஒரு புள்ளியை அடையும் கோளக அலையின் ஒரு பகுதி சமதளப் பரப்பைக் கொண்டிருக்கும் அத்தகைய அலை **சமதள அலை** என அழைக்கப்படுகிறது. மேலும் அந்த அலையானது ஊடகத்தில் தடையின்றி பரவுமாயின் அது **சமதள முன்னேறு அலை** என அழைக்கப் பெறுகிறது.

1. 6. 2. சமதள முன்னேறு அலை ஒன்றிற்கான சமன்பாடு.

முன்னேறு அலை ஒன்றில் அதிர்வியக்கமானது ஊடகத்தின் அடுத்தடுத்த துகள்கள் ஒத்த அதிர்வுகளைப் பெறுவதால் ஒரு துகளிலிருந்து மற்றொரு துகளுக்குக் கடத்தப்படுகிறது என அறிகிறோம். (பகுதி 1. 6. 1) துகள்களின் அதிர்வுகள் ஒரே மாதிரியாயமையினும் ஒரு குறிப்பிட்ட கணத்தில் அவையாவும் ஒத்த அதிர்வு நிலைகளில் இருப்பதில்லை. துகள்களின் நிலைமப்பண்பின் காரணமாக எந்தவொரு துகளும் அதற்கு முந்திய துகளைவிட, ஒலியானது முந்திய துகளிலிருந்து அத்துகளை அடைவதற்குத் தேவையான கால அளவுக்கு அதிர்வு நிலையில் பின் தங்கியே அமையும்.

ஒலி மூலமும் (அதிர்வுறு பொருள்), ஒலி அலை பரவும் ஊடகத் துகள்களும் சீரிசை இயக்கத்தை மேற்கொள்ளுகின்றன என்பதை நாமறிவோம். X திசையில் பரவும் சமதள முன்னேறு அலை

ஒன்றிற்குரிய ஒலிமூலம் ஒன்றிலிருந்து x தொலைவிலமைந்த துகளொன்றின் ஒரு குறிப்பிட்ட கணத்தில் இடப்பெயர்ச்சிக்கான சமன்பாடு அச்சமதள முன்னேறு அலையினைக் குறிக்கும். அதனைப் பின்வருமாறு பெறலாம் :

முன்னேறு அலையின் ஒலிமூலம் O-விலிருந்து u தொலைவில் அமைந்த துகள் A எனக் கொள்வோம். (படம் 1-21) O, A என்ற இரு துகள்களும் சீரிசை மேற்கொள்ளுமாயினும் ஒரு குறிப்பிட்ட கணத்தில் அவையிரண்டும் ஒரே அதிர்வு நிலையில் அமையா.

படம் 1-21
முன்னேறும் அலையில் ஒரு புள்ளி

ஒலியின் திசைவேகம் (முன்னேறு அலையின் வேகம்) v எனில் எந்தவொரு அதிர்வு நிலையும் O-லிருந்து A-ஐ அடைவதற்கு ஆகும் காலம் $\frac{x}{v}$ ஆகும். a, n ஆகியவை ஒலி அலையின், எனவே ஊடகத் துகள்களின் முறையே வீச்சு மற்றும் அதிர்வெண் எனில், t கணத்தில் O-ன் இடப் பெயர்ச்சியானது

$$y = a \sin \omega t = a \sin 2\pi n t \qquad \left(\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi n \right)$$

என்ற சமன் பாட்டால் பெறப்படுகிறது. அதே கணத்தில் A துகளின் இடப்பெயர்ச்சியானது $\frac{x}{v}$ செகண்டுக்கு முன்னர் அதாவது $\left(t - \frac{x}{v} \right)$ என்ற கணத்தில் O-ன் இடப்பெயர்ச்சிக்குச் சமமாகும். எனவே, t என்ற கணத்தில் A துகளின் இடப்பெயர்ச்சி.

$$y = a \sin 2\pi n \left(t - \frac{x}{v} \right)$$

அல்லது
$$y = a \sin 2\pi \frac{n}{v} (vt - x)$$

அல்லது
$$y = a \sin \frac{2\pi}{\lambda} (vt - x) \qquad [\because v = n\lambda]$$

ஆகும். அதாவது, λ அலை நீளமும். X திசையில் v என்ற திசை வேகமும் கொண்ட சமதள முன்னேறு அலைக்கான சமன்பாடு

$$y = a \sin \frac{2\pi}{\lambda} (vt - x) \qquad (1)$$

ஆகும்.

1. 6 3. சீரிசை இயக்கங்களின் தொகுப்பு

ஒலி பரவும் ஊடகம் ஒன்றின் துகள்கள் சீரிசை இயக்கம் பெற்றுள்ளதையும், எந்தவொரு கணத்திலும் துகளொன்றின் இடப் பெயர்ச்சிக்கான கோவையானது ஒலி அலையைக் குறிப்பதையும் நாமறிவோம். எனவே, ஊடகம் ஒன்றில் ஒன்றுக்கு மேற்பட்ட ஒலி அலைகள் ஒரே நேரத்தில் இயங்குமாயின், அவை ஒவ்வொன்றின் விளைவாக ஒற்றைத் துகள் ஒன்று பெறும் இடப்பெயர்ச்சிகளின் தொகுப்பைக் காண்பதன் மூலம் ஒலி அலைகளின் தொகுபயனைக் கண்டு ஆராயலாம். பின்வரும் பகுதிகளில் இரு அலைகளால் விளைவிக்கப்படும் சீரிசை இயக்கங்களின் தொகுப்பைப் பற்றிக் காண்போம்.

1. 6. 3a. அதே நேர் கோட்டிலமைந்த, சற்றே வேறுபட்ட அலைவு நேரங்களை (அல்லது அதிர்வெண்களைக் கொண்ட சீரிசை இயக்கங்களின் தொகுப்பு

ஒரே நேர் கோட்டிலமைந்த இரு சீரிசை இயக்கங்களின் சற்றே வேறுபட்ட அதிர்வெண்கள் $m+n$, m எனவும் அவற்றின் வீச்சுக்கள் முறையே a, b எனவும் கொள்வோம். அவற்றிற்குரிய சமன்பாடுகள்

$$y_1 = a \sin 2\pi (m+n) t \qquad (2)$$

$$y_2 = b \sin 2\pi mt \qquad (3)$$

ஆகும். எனவே, துகளின் தொகுபயன் இடப்பெயர்ச்சி

$$y = y_1 + y_2 = a \sin 2\pi (m+n) t + b \sin 2\pi mt$$

அல்லது $y = a \sin 2\pi mt \cos 2\pi nt + a \cos 2\pi mt \sin 2\pi nt$
$$+ b \sin 2\pi mt \qquad (4)$$

ஆகும். n சிறியதாக அமையும்போது தொகுபயனும் m என்ற அதிர்வெண்ணைப் பெறுவதாகக் கொள்ளலாம். எனவே. தொகு பயன் இடப்பெயர்ச்சிக்கான சமன்பாட்டை

$$y = A \sin (2\pi mt + \phi) \qquad (5)$$

எனவும் எழுதலாம் ; A என்பது தொகுபயன் இயக்கத்தின் வீச்சு, ϕ என்பது அதன் தொடக்க கட்டம் ஆகும். சமன் (5)-லிருந்து.

$$y = A \sin 2\pi mt \sin \phi + A \cos 2\pi mt \sin \phi \qquad (6)$$

ஆகும். சமன் (4) (6) ஆகியவற்றில் $\sin 2\pi mt$ மற்றும் $\cos 2\pi mt$ ஆகியவற்றின் கெழுக்களைச் சமனிடுவோமாயின்

$$A \cos \phi' = A \cos 2\pi nt + b \qquad (7)$$
$$A \sin \phi = a \sin 2\pi nt \qquad (8)$$

ஆகும். சமன் (7), (8) ஆகியவற்றிலிருந்து

$$A^2 = a^2 + b^2 + 2\,ab \cos 2\pi nt$$

அல்லது $A = (a^2 + b^2 + 2\,ab \cos 2\pi nt)^{\frac{1}{2}}$ (9)
ஆகும்.

சமன் (9), தொகுபயன் இயக்கத்தின் வீச்சினை அளிக்கிறது. மேற்கண்ட சமன்பாட்டிலிருந்து தொகுபயன் இயக்கத்தின் வீச்சானது மாறிலியாயமைவதில்லை என்பதைக் காணலாம். மேலும், $\cos 2\pi nt = 1$ அல்லது $2\pi nt = 0, 2\pi, 4\pi$....அல்லது $t = 0, \frac{1}{n}, \frac{2}{n}$ ....ஆகிய கணங்களில் வீச்சானது $(a+b)$ பெருமமாயமைவதையும், $\cos 2\pi nt = -1$ அல்லது $2\pi nt = \pi, 3\pi, 5\pi$.... அல்லது $t = \frac{1}{2n}, \frac{3}{2n}, \frac{5}{2n}$.... ஆகிய கணங்களில் வீச்சானது $(a-b)$ சிறுமமாயமைவதையும் காணலாம். எனவே, வீச்சு மாறுபாட்டுக் காலமானது, அதாவது, வீச்சானது ஒரு பெருமத்திலிருந்து சிறுமத்தையடைந்த பின்னர் அடுத்த பெருமத்தையடைவதற்குரிய கால அளவானது, அதாவது, அடுத்தடுத்த இரு வீச்சுப் பெருமங்களுக்கிடையேயான கால அளவானது

$$T = \frac{1}{n}$$

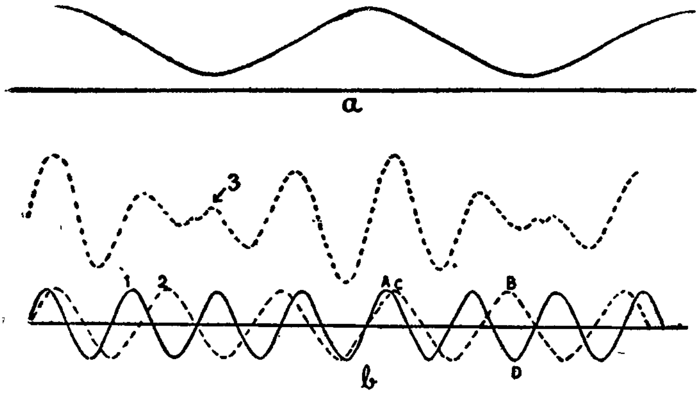
ஆகும். இது, வீச்சுச் சிறுமங்களுக்கிடையேயான கால அளவிற்கும் சமமாகும். எனவே, தொகுபயன் அலையின் வீச்சு மாறுபாட்டிற்கான அதிர்வெண்

$$\frac{1}{T} = n \qquad (10)$$

ஆகும் : இது தொகுக்கப்பட்ட இரு சீரிசை இயக்கங்களின் அதிர்வெண்களின் வேறுபாட்டிற்குச் சமமாகும்.

படம் 1-22-இல் தொகுபயன் வீச்சு மாறுபடும் முறையைக் காணலாம். எளிமைக்காக சீரிசை இயக்கங்களின் வீச்சுக்கள் சமமாகக் கொள்ளப்பட்டுள்ளன. (படம் 1-22). காலப்போக்கில்.

தொகுக்கப்பட்ட சீரிசை இயக்கங்கள் (1. 2) மற்றும் அவற்றின் தொகுபயன் (3) ஆகியவற்றின் பயனாய் ஒற்றைத் துகள் ஒன்று



படம் 1 - 22
இரு சீரிசை இயக்கங்களின் தொகுபயன்

பெறும் இடப்பெயர்ச்சிகளைக் குறிக்கிறது. படத்திலிருந்து A. C ஆகிய புள்ளிகளால் குறிக்கப்படும் கணங்களில் துகளின் தனித்தனி இடப்பெயர்ச்சிகள் ஒரே திசையில் அமைவதால் தொகுபயன் இடப்பெயர்ச்சியானது பெருமமாயிருப்பதையும் B, D புள்ளிகள் இடப்பெயர்ச்சிகள் எதிர்த்திசைகளில் அமைந்து சுழி அல்லது சிறுமமாயிருப்பதையும் காணலாம்.

1. 6. 3b. விம்மல்கள் (Beats)

N_1, N_2 என்ற ($N_1 - N_2 = n$) சற்றே வேறுபட்ட அதிர்வெண்களைக் கொண்ட இரு ஒலி அலைகள் ஒரு ஊடகம் வழியே ஒரே நேரத்தில் செல்லுமாயின் ஊடகத் துகள்கள் ஒவ்வொன்றும் சற்றே வேறுபட்ட அலைவு நேரங்களைக் கொண்ட இருசீரிசை இயக்கங்களை மேற்கொள்ளும். அத்தகைய இரு சீரிசை இயக்கங்களின் தொகுபயனின் வீச்சானது சீராக அமையாமல் மாறி மாறி பெருமமாகவும் சிறுமமாகவும் அமையும் என சென்ற பகுதியில் (பகுதி 1.6.3a) கூறப்பட்டது. எனவே, தொகுபயன் ஒலி அலைகளின் செறிவும் பெருமமாக வளர்ந்தும் அதனை அடுத்துச் சிறுமமாகத் தேய்ந்தும் அமையும் [படம் 1-22a]. (செறிவானது வீச்சின் இருமடிக்கு நேர் விகிதத்திலுள்ளது.) இந்த நிகழ்ச்சி **விம்மல்கள்** என அழைக்கப்படுகிறது. **ஒரு செறிவு வளர்ச்சியும் அதனையடுத்த செறிவுத் தேய்வும் ஒரு விம்மலைக் குறிக்கின்றன.**

மேலும், தொகுபயன் இயக்கத்தின் வீச்சு மாறுபாட்டிற்கான அதிர்வெண்ணானது தொகுக்கப்பட்ட சீரிசை இயக்கங்களின் அதிர்வெண்களின் வேறுபாட்டிற்குச் சமமாகும் என்பனதையும் (சமன் 10) சென்ற பகுதியில் கண்டோம். எனவே தொகுபயன் ஒலியின் செறிவு மாற்றங்களுக்குரிய அதிர்வெண்ணானது, அதாவது, ஒரு செகண்டில் தோன்றும் விம்மல்களின் எண்ணிக்கையானது தொகுக்கப்பட்ட ஒலி அலைகளின் அதிர்வெண் வேறுபாட்டிற்குச் $(N_1 - N_2 = n)$ சமமாகும்.

உள்ளீடற்ற பெட்டி ஒன்றின்மீது பொருத்தப்பட்ட இரு சமமான இசைக்கவைகளைப் பயன்படுத்தி விம்மல்களை உருவாக்கிக் காட்டலாம். அவற்றுள் ஒன்றின் புயத்தில் சிறிதளவுத் தேன் மெழுகைப் பொருத்துவோமாயின் அதன் அதிர்வெண் சற்றுக் குறையும். இந்நிலையில் அவ்விரு இசைக்கவைகளையும் ஒருங்கே அதிர்வூட்டுவோமாயின் ஒலி வளர்ச்சியுறுவதையும், தேய்வுறுவதையும் தெளிவாகச் செவியுறலாம்.

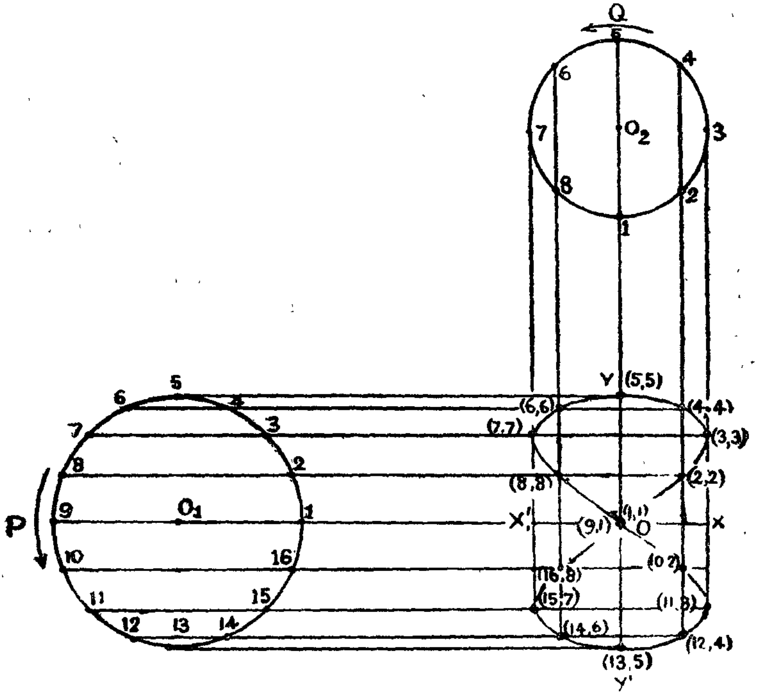
விம்மல்களின் பயன்கள்: இரு அதிர்வுறு பொருட்களை ஒத்ததிர்வூட்டுவதில் விம்மல்கள் பயன்படுகின்றன. காட்டாக, விம்மல்களைப் பயன்படுத்திச் சோனா மீட்டர் கம்பி ஒன்றை இசைக்கவை ஒன்றுடன் ஒத்ததிர்வு பெறுமாறு செய்யலாம். அதிர்வூட்டப் பெற்ற இசைக்கவையை சோனாமீட்டர்மீது வைத்து, சோனாமீட்டர கம்பியையும் அதிர்வூட்டுவோமாயின் அவை இரண்டின் அதிர்வெண்களும் ஏறத்தாழச் சமமாக அமையும்போது விம்மல்கள் தோன்றும். இந்நிலையில் விம்மல்களின் எண்ணிக்கைக் குறைந்து சுழியாகும் வண்ணம் கம்பியின் நீளத்தைக் கவனமாகச் சரி செய்வதன் மூலம் அவ்விரண்டையும் ஒத்ததிர்வூட்டலாம்.

இசைக்கவை ஒன்றின் அதிர்வெண்ணைக் காண்பதற்கும் விம்மல்களைப் பயன்படுத்தலாம். இதற்கு, அந்த இசைக்கவையினை தெரிந்த அதிர்வெண்ணைக் கொண்ட படித்தர இசைக்கவை ஒன்றுடன் அதிர்வூட்டி விம்மல்கள் பதிவு செய்யப் படுகின்றன. படித்தர இசைக்கவையின் அதிர்வெண் N ஆகவும், ஒரு செகண்டில் தோன்றும் விம்மல்களின் எண்ணிக்கை n ஆகவும் இருந்தால் சோதனைக்குரிய இசைக்கவையின் அதிர்வெண் $N \pm n$ ஆகும். அடுத்து, சோதனைக்குரிய இசைக்கவையின் புயத்தில் சிறிதளவு தேன் மெழுகை இணைத்து மீண்டும் விம்மல்கள் பதிவு செய்யப் படுகின்றன. இப்பொழுது விம்மல்களின் எண்ணிக்கை கூடுமாயின், சோதனைக்குரிய இசைக்கவையின் அதிர்வெண் $(N-n)$ ஆகும்; மாறாக, விம்மல்களின் எண்ணிக்கைக் குறையுமாயின் இசைக்கவையின் அதிர்வெண் $(N+n)$ ஆகும்.

1. 6. 3c. ஒன்றுக்கொன்று நேர்குத்தாயமைந்த, எளிய விகிதங்களிலமைந்த அதிர்வெண்களைக் கொண்ட சீரிசை இயக்கங்களின் தொகுப்பு — லிசாஜோஸ் படங்கள் (Lissajou's figures)

தொகுக்கப்பட வேண்டிய இரு சீரிசை இயக்கங்களும் ஒன்றுக்கொன்று நேர்குத்தாகவும் வேறுபட்ட அதிர்வெண்களையும் கொண்டு அமையுமாயின் கணக்கியல் ஆய்வு சற்றுச் சிக்கல் வாய்ந்ததாக அமைகிறது. ஆயினும், அவற்றின் தொகுபயனை வரைபட முறையில் எளிதில் காணலாம்.

இம்முறையானது சீரிசை இயக்கத்திற்கான ஒரு வரையறையை அடிப்படையாகக் கொண்டுள்ளது. அவ்வரையறையின்படி **சீரான வட்ட இயக்கம் ஒன்றின் விட்டம் அல்லது அதற்கு இணையான கோடு ஒன்றின் மீதான விழ்ச்சி ஒரு சீரிசை இயக்கமாகும்.**



படம் 1-23

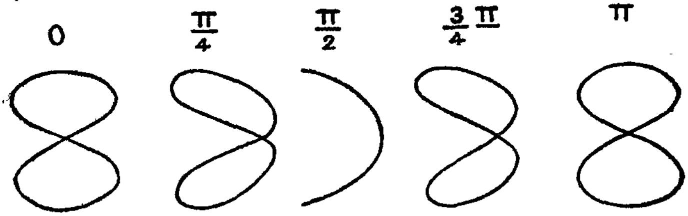
லிசாஜோஸ் படங்கள் : இரு சீரிசை இயக்கங்களின் தொகுப்பு

X, Y திசைகளில் 1:2 என்ற விகிதத்திலமைந்த அலைவு நேரங்களைக் கொண்டு (அதிர்வெண்களின் விகிதம் 2:1) இரு சீரிசை

இயந் —4

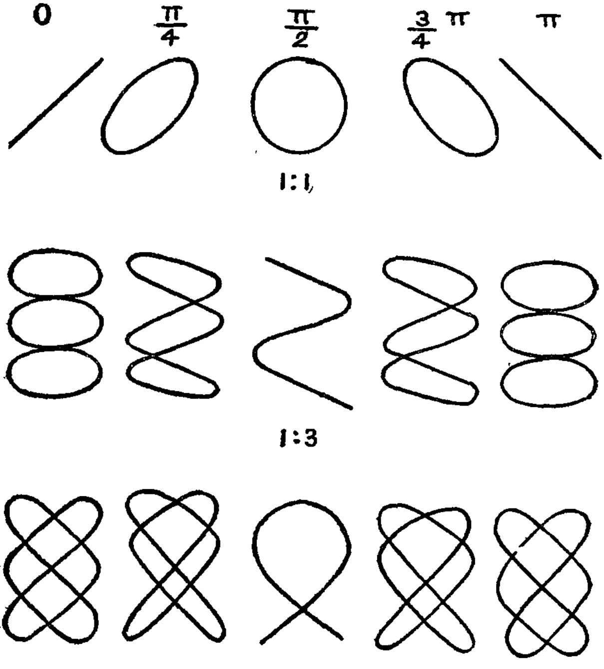
இயக்கங்களைக் கருதுவோம். இந்த இரு சீரிசை இயக்கங்களையும் X, Y அச்சுக்களில் அமைந்த, முறையே O_1, O_2 ஆகியவற்றை மையங் களாகக் கொண்ட P, Q என்ற வட்ட இயக்கங்களின் வீழ்ச்சிகளாகக் குறிக்கலாம் (படம் 1.23). வட்டவியக்கம் Q, XOX' திசையிலான சீரிசை இயக்கத்தையும் வட்டவியக்கம் P, YOY' திசையிலான சீரிசை இயக்கத்தையும் விளைவிக்கின்றன. மேலும், அவற்றின் அதிர்வெண்கள் 2:1 என்ற விகிதத்தில் அமைவதால் P, ஒரு முறைச் சுற்றி வரும் அதே நேரத்தில் Q, இரு முறைச் சுற்றி வரும். எனவே, P வட்டத்தை 16 பகுதிகளாகவும் Q வட்டத்தை 8 பகுதி களாகவும் பிரிப்போமாயின் P-ஆனது அதன் வட்டத்தில் ஒரு பகுதி யைக் கடக்கும் அதே கால அளவில் Q-வும் அதன் வட்டத்தில் ஒரு பகுதியைக் கடக்கும். இரு சீரிசை இயக்கங்களும் O என்ற துகளின் மீது ஊட்டப் பெறுமாயின், ஒரு குறிப்பிட்ட கணத்தில் P, Q ஆகிய வற்றின் நிலைகளிலிருந்து முறையே YOY', மற்றும் XOX' ஆகிய வற்றிற்கு வரையப்படும் நேர்குத்துக் கோடுகளின் சந்தியைக் காண் பதன் மூலம் அக்கணத்தில் துகளின் நிலையைக் காணலாம். காட்டாக, P, Q ஆகியவை அவற்றின் வட்டங்களில் 1, 2........ என்ற நிலைகளில் அமையும்போது துகளானது (1, 1), (2, 2)........ என்ற புள்ளிகளில் அமையும். P, அதன் வட்டத்தில் 10 என்ற நிலையில் அமையும்போது Q, அதன் வட்டத்தில் ஒரு சுற்றை முடித்துக் கொண்டு மீண்டும் 2 என்ற நிலையில் அமையும். எனவே, அக் கணத்தில் துகள் (10, 2) என்ற புள்ளியில் அமையும். துகளின் வெவ்வெறு நிலைகளை இணைக்கும் கோடானது இருசீரிசை இயக்கங் களின் தொகுபயனைக் குறிக்கும். **ஒன்றுக்கொன்று நேர்குத்தா யமைந்த இரு சீரிசை இயக்கங்களின் தொகுபயனைக் குறிக்கும்** இத்தகைய படங்கள் **லிசஜோஸ் படங்கள் எனஅழைக்கப்படுகின்றன.**

$t=O$' என்னும் கணத்தில் P, Q ஆகிய இரண்டும் 1 என்ற நிலை யில் அமையுமாயின் துகளானது (1, 1) என்ற புள்ளியிலிருந்து YOY' வழியாகவும் XOX' வழியாகவும் நேர்த்திசைகளில் இயங்கத் தொடங்கும். இந்நிலையில் இரு சீரிசை இயக்கங்களும் ஒரே கட்டத் தில் அமைவதாகக் கூறப்படுகிறது. அதாவது, அவற்றிற்கிடையே யான கட்ட வேறுபாடு சுழியாகும். இந்நிலையில் அவற்றின் தொகு பயன் 8-ஐப் போன்று அமையும். இரு சீரிசை இயக்கங்களும் கட்ட வேறுபாடு ஒன்றுடன் அமையுமாயின் தொடக்க நிலையானது (1, 1) புள்ளியிலிருந்து தள்ளி அமைந்து தொகுபயனானது உருச் சிதைந்த 8-ன் வடிவைப் பெறும் (படம் 1-24). படம் 1-24-ல் அமைந்த படங்களில் கிடைத்தள சீரிசை இயக்கமானது செங்குத்துச் சீரிசை இயக்கத்தை முந்தும் கட்ட அளவுகள் உரிய படங்களுக்கருகில் குறிக் கப்பட்டுள்ளன.



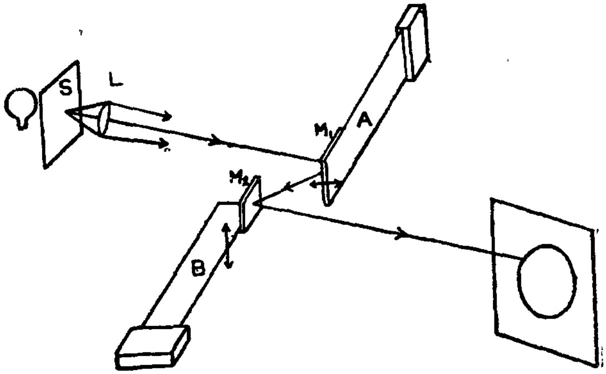
படம் 1-24
பல்வேறு கட்ட வேறுபாடுகளில் 1:2 லிசாஜோஸ் படங்கள்

X, Y திசைகளில் *1:1, 1:3, 2:3* என்ற விகிதத்திலமைந்த அலைவு நேரங்களைக் கொண்ட இரு சீரிசை இயக்கங்களின் தொகுபயன்களுக்கான லிசாஜோ படங்களைப் படம் 1-25-ல் காணலாம்.



படம் 1-25
பல்வேறு அதிர்வெண் விகிதங்களுக்கான லிசாஜோஸ் படங்கள்

இரு எஃகுப் பட்டைகளைக் கொண்டு அமைக்கப்பட்ட எளிய அமைப்பின் மூலம் லிசாஜோஸ் படங்களை ஆய்வகத்தில் உருவாக்கிக் காட்டலாம். பட்டைகளுள் ஒன்று (A) கிடைத்தளத்தில் அதிர்வுறு மாறும், மற்றொன்று (B) செங்குத்துத் தளத்தில் அதிர்வுறுமாறும் அவற்றின் ஒரு முனையில் உறுதியாகப் பொருத்தப்படுகின்றன. அவற்றின் மறு முனைகளில் இரு கண்ணாடித் துண்டுகள் பொருத்தப்



படம் 1 - 26
லிசாஜோஸ் படம் தோற்றுவித்தல்

படுகின்றன (படம் 1-26).

படத்தில் காட்டியுள்ளவாறு. புள்ளியளவு ஒளிமூலம் (S) ஒன்றி லிருந்து மெல்லிய ஒளிக்கற்றை ஒன்று M_1 என்ற ஆடியில் படுமாறு அமைக்கப்படுகிறது. M_1. அக்கற்றையை M_2-ஐ நோக்கிப் பிரதி பலிக்கிறது. M_2 அதனைத் திரை ஒன்றை நோக்கிப் பிரதி பலிக்கிறது. L என்ற லென்ஸைச் சரி செய்வதன் மூலம் ஒளிக் கற்றையானது திரையில் ஒளிப்புள்ளி ஒன்றைத் தோற்றுவிக்குமாறு செய்யலாம். இரு பட்டைகளும் அதிரூட்டப் படுமாயின் ஒளிப் புள்ளியானது திரையில் லிசாஜோஸ் படங்களை வரையும். பட்டை களின் அலைவு நேரங்கள் அவற்றின் அதிர்வுறு நீளங்களுக்கு நேர் விகிதத்தில் அமையுமாதலால், அவற்றின் அதிர்வுறு நீளங்களை மாற்றுவதன் மூலம் வெவ்வேறு அலைவு நேர விகிதங்களைப் பெறலாம்.

லிசாஜோஸ் படங்களின் பயன்கள் : இரு அதிர்வுறு பொருட் களின் அதிர்வெண்களை ஒப்பிடுவதற்கு லிசாஜோஸ் படங்கள் பயன் படுகின்றன. மேலும். அவற்றுள் ஒன்றின் அதிர்வெண்ணை நுட்ப

மாக அறிவோமாயின் மற்றொன்றின் அதிர்வெண்ணைக் கணக்கிடலாம்.

1. 6. 4. வாயுக்களில் ஒலி பரவுதல்

அலை பரவுதலானது குறுக்கலைகள், நெட்டலைகள் என்ற இருவடிவில் நிகழ்கிறது எனப் படித்திருக்கிறீர்கள். **ஒலியானது, வாயுக்களில் நெட்டலைகள் வடிவில் பரவுகிறது.** எனவே, வாயு ஒன்றின் வழியே ஒலி அலைகள் பரவும்போது ஒரு புள்ளியில் மாறி மாறி நெருக்கங்களும் நெகிழ்வுகளும் உருவாகின்றன. இதன் விளைவாக ஒலிபரவும் வாயுத் தம்பமானது அழுத்த மாறுபாடுகளுக்கு உட்பட்டுப் பருமத்திரிபு ஒன்றைப் பெறுகிறது. இதன் அடிப்படையில் வாயுககளின் வழியே ஒலியின் திசைவேகத்திற்கான ஒரு தொடர்பைப் பெற முடியும்.

1. 6.4a. நியூட்டன் தொடர்பு

ஊடகம் ஒன்றின் வழியே ஒலி அலைகள் பரவும்போது அளவிடற்குரிய வெப்பநிலை மாற்றம் எதுவும் காணப்படவில்லையாதலால் ஊடகத்தின் அழுத்தம், மற்றும் பரும மாறுபாடுகள் மாறா வெப்பநிலை மாறுபாடுகளென நியூட்டன் கருதினார். இக்கருத்தினடிப்படையில் வாயு ஒன்றின் வழியேயான ஒலியின் திசைவேகத்திற்கான

$$v = \sqrt{\frac{p}{\rho}} \qquad (11)$$

என்ற தொடர்பைப் பெற்றார் : p என்பது வாயுவின் அழுத்தம். ρ என்பது p அழுத்தத்தில் வாயுவின் அடர்த்தியாகும்.

ஆயினும் இத்தொடர்பைக் கொண்டு படித்தர வெப்பநிலை அழுத்தத்தில் (273 K, 760 மி மீ பாதரசம்) காற்றில் ஒலியின் திசைவேகத்திற்கான மதிப்பு கணக்கிடப்பட்டபோது அம்மதிப்பானது (280 மீ/செ) உண்மையான மதிப்பான 330 மீ/செ. என்ற மதிப்பினின்றும் பெரிதும் மாறுபட்டிருப்பது காணப்பட்டது.

1. 6. 4b லாப்லஸ் திருத்தம் (Laplace correction)

ஒலி பரவும்போது ஊடகத்தின் அழுத்தம் மற்றும் பருமமாற்றங்கள் மாறா வெப்பநிலை மாற்றங்களாக அமைவதில்லை என்ற கருத்தினடிப்படையில் லாப்லஸ் என்பவர் நியூட்டன் தொடர்பை மாற்றியமைத்தார். ஒலி அலைகள் ஊடகத்தின் வழியே செல்லும்போது நெருக்க நெகிழ்வுகள் ஊடகத்தின் வழியே மிக விரைவாக

இயங்குகின்றன. காட்டாக. அதிர்வெண் 256 கொண்ட ஒலி அலை ஒன்று ஊடகத்தின் வழியே செல்லும்போது அதன் ஒவ்வொரு புள்ளி வழியேயும் ஒரு செகண்டு நேரத்தில் 256 நெருக்கங்களும் 256 நெகிழ்வுகளும் கடந்து செல்கின்றன. விரைந்து நிகழக்கூடிய எந்தவொரு அழுத்த அல்லது பருமமாற்றமும் வெப்ப மாற்றீடற்ற மாற்றமாதலால் ஒலி அலை செல்லும் வாயு ஒன்றின் அழுத்தம் மற்றும் பரும மாற்றங்கள் வெப்ப மாற்றீடற்ற மாற்றங்களாக அமைய வேண்டுமென லாப்லஸ் கருதினார். இக்கருத்தினடிப்படையில். வாயு ஒன்றின் வழியே ஒலியின் திசைவேகத்திற்கான

$$v = \sqrt{\frac{\gamma p}{\rho}} \qquad (12)$$

என்ற தொடர்பை லாப்லஸ் பெற்றார்; γ என்பது வாயுவின் தன் வெப்ப ஏற்புத்திறன்களின் விகிதமாகும். இத்தொடர்பு **நியூட்டன்-லாப்லஸ் தொடர்பு** என அழைக்கப்படுகிறது. அது. படித்தர வெப்ப நிலை அழுத்தத்தில் காற்றில் ஒலியின் திசை வேகத்திற்கான 331.1 மீ/செ என்ற மதிப்பை அளிக்கிறது. இம்மதிப்பானது உண்மையான மதிப்புடன் பெரிதும் ஒத்துள்ளதைக் காணலாம்.

1. 6. 5. அழுத்தம் மற்றும் வெப்பநிலை ஆகியவற்றின் ஒலியின் திசைவேகத்தின் மீதான விளைவுகள்

ஒலியின் திசைவேகத்திற்கான நியூட்டன் லாப்லஸ் தொடர்பிலிருந்து வாயு ஒன்றின் வழியே ஒலியின் திசைவேகத்தில் வாயுவின் அழுத்தம் மற்றும் வெப்பநிலை மாறுபாடுகள் விளைவிக்கக்கூடிய விளைவுகளை ஆராயலாம்.

(a) **அழுத்தத்தின் விளைவு :** பாயில் விதியின்படி. மாறா வெப்பநிலையில் வாயு ஒன்றின் அழுத்தமானது (p) அதன் பருமனுக்கு (v) எதிர் விகிதத்திலுள்ளது. அதாவது மாறா வெப்ப நிலையில் pv ஒரு மாறிலியாகும். ஆயின். பருமன் அடர்த்தி (ρ)க்கு எதிர்விகிதத்திலிருப்பதால் $\frac{P}{\rho}$ ஒரு மாறிலியாகும். எனவே. **மாறா வெப்பநிலையில் வாயு ஒன்றின் வழியே ஒலியின் திசைவேகமானது வாயுவின் அழுத்தத்தைப் பொறுத்து மாறுவதில்லை.**

(b) **வெப்பநிலையின் விளைவு :** வாயுவின் அழுத்தம் மாறிலியாக அமையும்பொழுது அதன் பருமன் அதன் கெல்வின் வெப்பநிலைக்கு நேர்விகிதத்திலுள்ளது (சார்லஸ் விதி). எனவே. வாயுவின் அடர்த்தி (ρ) யானது கெல்வின் வெப்பநிலைக்கு எதிர்விகிதத்தில் அமையும். அதாவது, மாறா அழுத்தத்தில் (ρ) ஒரு மாறிலியாக அமையும்: வாயு ஒன்றில் T_1 K, T_2 K வெப்பநிலைகளில் ஒலியின்

திசைவேகங்கள் முறையே v_1, v_2 எனவும் வாயுவின் அடர்த்திகள் முறையே ρ_1, ρ_2 எனவும் கொள்வோமாயின்

$$v_1 = \sqrt{\frac{\gamma p}{\rho_1}}$$

$$v_2 = \sqrt{\frac{\gamma p}{\rho_2}}$$

$$\therefore \frac{v_1}{v_2} = \sqrt{\frac{\rho_2}{\rho_1}} \qquad (13)$$

ρT ஒரு மாறிலியாதலால் $\rho_1 T_1 = \rho_2 T_2$ அல்லது $\frac{\rho_2}{\rho_1} = \frac{T_1}{T_2}$ ஆகும். எனவே

$$\frac{v_1}{v_2} = \sqrt{\frac{T_1}{T_2}} \qquad (13)$$

ஆகும். எனவே, **வாயு ஒன்றில் ஒலியின் திசைவேகமானது வாயுவின் கெல்வின் வெப்பநிலையின் இருமடி மூலத்திற்கு நேர் விகிதத்திலுள்ளது.**

காற்றில் ஒலியின் திசை வேகமானது ஒவ்வொரு டிகிரி செல்சியஸ் அல்லது கெல்வின் வெப்பநிலை உயர்வுக்கும் 0·6 மீசெ$^{-1}$ அளவு உயர்வது காணப்பட்டுள்ளது.

1. 6. 6 மாதிரிக் கணக்குகள்

1. இரு இசைக்கவைகள் ஒருங்கே அதிர்வூட்டப் பெறும் பொழுது ஒரு செகண்டுக்கு 4 விம்மல்கள் தோன்றுகின்றன. அவற்றுள் ஒன்று 0·64 மீட்டர் நீளமுள்ள சோனா மீட்டர் கம்பியுடனும் மற்றொன்று அதே இழுவிசையிலமைந்த 0·65 மீட்டர் நீளமுள்ள அதே சோனா மீட்டர் கம்பியுடனும் ஒத்ததிர்வு பெறுகின்றன. இசைக் கவைகளின் அதிர்வெண்களைக் கணக்கிடுக.

முதலாவது, இரண்டாவது இசைக்கவைகளின் அதிர்வெண்கள் முறையே n_1, n_2 என இருக்கட்டும். அவை ஒத்ததிர்வு பெறும் சோனாமீட்டர் கம்பிகளின் நீளங்கள் முறையே l_1, l_2 எனில், குறுக் கலைவுகளைப்பற்றிய முதல் விதியின்படி

$$n_1 l_1 = n_2 l_2$$

$l_1 < l_2$ ஆதலால் $n_1 > n_2$ ஆகும்.

இனி, $n_1 - n_2 = 4$ (i)

மேலும் $n_1 \times 0{\cdot}64 = n_2 \times 0{\cdot}65$

$$\therefore \quad n_1 = n_2 \frac{65}{64}$$

சமன் (i) லிருந்து $\frac{65}{64} n_2 - n_2 = 4$

அல்லது $\frac{n_2}{64} = 4$

$$\therefore \quad n_2 = 256 \text{ H}_z$$

$$n_1 = 260 \text{ H}_z$$

எனவே கொடுக்கப்பட்ட இசைக் கவைகளின் அதிர்வெண்கள் 260 H_z, 256 H_z ஆகும்.

2. இசைக்கவை ஒன்று 0.325 மீ நீளமுள்ள சோனாமீட்டர் கம்பி ஒன்றுடன் ஒத்ததிர்வூட்டப் பெறும்பொழுது செகண்டுக்கு 5 விம்மல்களை உருவாக்குகிறது. கம்பியின் நீளம் 0·315 மீ ஆகக் குறைக்கப்படும்பொழுது மீண்டும்செகண்டுக்கு 5 விம்மல்கள் தோன்றுகின்றன. இசைக்கவையின் அதிர்வெண்ணைக் கணக்கிடுக.

இசைக்கவையின் அதிர்வெண் n எனவும், $l_1 = 0{\cdot}325$ மீ நீள்முள்ள கம்பியின் அதிர்வெண் n_1 எனவும், $l_2 = 0{\cdot}315$ மீ நீளமுள்ள கம்பியின் அதிர்வெண் n_2 எனவும் கொள்வோம்.

$l_1 > l_2$ ஆதலால் $n_1 < n_2$ ஆகும். மேலும், n, n_1க்கும் n_2க்கும் இடையில்லமைவதால் $n_1 < n < n_2$ ஆகும்.

$$\therefore \quad n - n_1 = 5 \qquad (1)$$

$$n_2 - n = 5 \qquad (2)$$

சமன் (1), (2) லிருந்து $n_2 - n_1 = 10$ (3)

ஆகும். மேலும் $n_1 \times 0{\cdot}325 = n_2 \times 0{\cdot}315$

$$\therefore \quad n_1 = n_2 \frac{315}{325}$$

சமன் (3) லிருந்து $n_2 - \frac{315}{325} n_2 = 10$

அல்லது $\frac{10 n_2}{325} = 10$

அல்லது $n_2 = 325$

எனவே சமன்பாடு (2) லிருந்து $n = n_2 - 5$

அல்லது $n = 320\ H_z$

இசைக் கவையின் அதிர்வெண் $320\ H_z$

வினாக்கள்

I. பின்வரும் (1 முதல் 20 வரை) வினாக்களுக்கான சரியான விடையை அதற்கென அமைந்த அடைப்புக் குறியில் தருக.

1. கோணத்திசை வேகத்திற்கான பரிமாணங்கள் :
   a. $M^1L^1T^0$ b. $M^{-1}L^1T^0$ c. $M^0L^0T^{-1}$
   d. $M^0L^{-1}T^{-1}$ ( )

2. கோணத்திசை வேகத்திற்கும் நேர்கோட்டுத் திசைவேகத்திற்குமான தொடர்பு
   a. $v = r\omega$ b. $v = \frac{r}{\omega}$ c. $v = \frac{\omega}{r}$ ( )

3. நிலைமத் திருப்புதிறனுக்கான பரிமாணங்கள்
   a. M^2L^2 b. ML^{-2} c. ML^2 d. $M^{-1}L^{-2}$ ( )

4. மெல்லிய தண்டு ஒன்றின் அதன் மையம் வழியாக அதன் தளத்திற்கு நேர்குத்தாயமைந்த அச்சைப் பற்றிய நிலைமத் திருப்புதிறன்
   a. $\frac{Ml^2}{3}$ b. $\frac{Ml^2}{12}$ c. $\frac{Ml^2}{4}$ d. $\frac{Ml^2}{6}$ ( )

5. சீரான வளையம் ஒன்றின் மையம் வழியாக அதன் தளத்திற்கு நேர்குத்தாயமைந்த அச்சைப் பற்றிய நிலைமத் திருப்புதிறன்
   a. Ma^2 b. Ma^2 c. $\frac{1}{4}Ma^2$ d. $\frac{5}{4}Ma^2$ ( )

6. சீரான வட்டத்தட்டு ஒன்றின் விட்டத்தைப் பற்றிய நிலைமத் திருப்புதிறன்
   a. $\frac{1}{2}Ma^2$ b. Ma^2 c. $\frac{1}{4}Ma^2$ d. $\frac{5}{4}Ma^2$ ( )

7. கோண உந்தத்தின் பரிமாணங்கள்
   a. $ML^{-2}T^{-1}$ b. $M^{-1}L^{-2}T^{-1}$ c. ML^2T^{-1}
   d. MLT^{-1} ( )

8. சூரியனைச் சுற்றிய கோளொன்றின் பாதை ஒரு
a. வட்டம். b. நீள் வட்டம் c. பரவளையம் d. அதி பரவளையம் ( )

9. இரு பொருள்களுக்கிடையேயான ஈர்ப்பியல் விசையானது
a. பொருள்களின் வெப்ப நிலையைச் சார்ந்ததன்று.
b. பொருள்களின் வெப்ப நிலையைச் சார்ந்துள்ளது.
c. பொருள்களின் உருவ அளவுகளைச் சார்ந்துள்ளது.
d. பொருள்கள் வெற்றிடத்தில் இருக்கும்போது மட்டுமே விளைகிறது. ( )

10. கோள்களின் இயக்கம் பற்றிய விதிகளை அளித்தவர்
a. கெப்ளர் b. நியூட்டன் c. கலிலியோ d. டாலமி ( )

11. ஈர்ப்பு மாறிலியின் பரிமாணங்கள்
a. $ML^{-1}T^{-1}$ b. $M^{-1}L^{3}T^{-2}$ c. $M^{-1}L^{-2}T^{-3}$ d. $M^{2}LT^{-1}$ ( )

12. உருக்குலைவிக்கும் விசைகள் நீக்கப்படும்பொழுது ஒரு பொருள் தனது தொடக்க நிலையை மீண்டும் பெறுமாயின் அது
a. முழுமீட்சி எல்லைக்குள் b. முழு ப்ளாஸ்டிக் எல்லைக்குள் c. முழுக்குணக எல்லைக்குள் இருக்கிறது. ( )

13. மீட்சிக் குணகத்தின் பரிமாணங்கள்
a. $M^{1}L^{-1}T^{-2}$ b. $M^{-1}L^{1}T^{2}$ c. $M^{0}L^{3}T^{-1}$ d. $M^{1}L^{-2}T^{2}$ ( )

14. மூவகை மீட்சிக் குணகங்களுக்கு இடையேயான தொடர்பு
a. $\frac{9}{N} = \frac{3}{K} + \frac{1}{E}$ b. $\frac{9}{E} = \frac{3}{K} + \frac{1}{N}$
c. $\frac{9}{K} = \frac{3}{N} + \frac{1}{E}$ d. $\frac{9}{E} = \frac{3}{N} + \frac{1}{K}$ ( )

15. நுண்குழாய் ஒன்றின் வழியே சீரான திரவ ஓட்டம் நிகழும் போது அதன் வழியே ஒரு செகண்டில் செல்லும் திரவத்தின் பருமன்
a. குழாயின் ஆரத்திற்கு நேர் விகிதத்திலுள்ளது.
b. குழாயின் ஆரத்தின் இருமடிக்கு நேர் விகிதத்திலுள்ளது.

c. குழாயின் நீளத்திற்கு நேர் விகிதத்திலுள்ளது.

d. குழாயின் ஆரத்தின் நான்கு மடிக்கு நேர்விகிதத்தி லுள்ளது. ( )

16. பாகியல் எண்ணிக்கான அலகுகள்

a. $N m^{-2} s^{-1}$. b, $N m^{-2} s$ c. $N m^{-2}$ d. $Kg\, m s^{-1}$ ( )

17. மிகக் குறைவான அழுத்தத்தை அளவிடுவதற்கான கருவி

a. போர்டன் அளவி b. மக்லியாடு அளவி

c. வாரன் அளவி d. சென்கோ உயர் வெற்றிட அளவி ( )

18. ஒன்றுக்கொன்று நேர்குத்தாயமைந்த, சமமான அலைவு நேரங்களைக் கொண்ட இரு சீரிசை இயக்கங்களின் தொகு பயன் ஒரு நீள்வட்டமாக அமையுமாயின், அவற்றிற் கிடையேயான கட்ட வேறுபாடு

a. π b. 2π c. $\frac{\pi}{4}$ d. $\frac{\pi}{2}$ ( )

19. வாயு ஒன்றில் ஒலியின் திசைவேகம்

a. வாயுவின் அழுத்தத்திற்கு நேர்விகிதத்திலுள்ளது.

b. வாயுவின் வெப்ப நிலையின் இருமடி மூலத்திற்கு எதிர் விகிதத்திலுள்ளது.

c. வாயுவின் கெல்வின் வெப்ப நிலையின் இருமடி மூலத்திற்கு நேர்விகிதத்திலுள்ளது.

d. வாயுவின் அடர்த்திக்கு நேர்விகிதத்திலுள்ளது ( )

20. வாயு ஒன்றில் ஒலி அலைகள்

a. குறுக்கலைகள் b. நெட்டலைகள்

c. குறுக்கலைகள் மற்றும் நெட்டலைகள் வடிவில் இயங்குகின்றன ( )

II. பின்வரும் (21-34) வினாக்களில் காலி இடங்களை நிரப்புக.

21. சுழற்சி இயக்கத்தில் நிலைமத் திருப்புதிறன் இடப் பெயர்ச்சி இயக்கத்தில்..............பங்கை வகிக்கிறது.

22. மெல்லிய தண்டு ஒன்றின் அதன் ஒருமுனை வழியாகவும் நீளத்திற்கு நேர்குத்தாகவும் அமைந்த அச்சைப் பற்றிய நிலைமத்திருப்பு திறன் .... ஆகும்.

23. சீரான வளையம் ஒன்றின் தொடுகோடு ஒன்றைப்பற்றிய நிலைமத் திருப்புதிறன் அதன் விட்டத்தைப்பற்றிய நிலைமத்திருப்பு திறனைப் போல் .... மடங்காகும்.

24. கோண உந்தத்தின் அலகுகள் .... ஆகும்.

25. கெப்ளரின் மூன்றாவது விதியின்படி கோள்களின் ....ன் இருமடிகள் சூரியனிலிருந்து அவற்றின் சராசரித் தொலைவுகளின் .... மடிகளுக்கு நேர் விகிதத்தில் உள்ளன.

26. ஈர்ப்பு மாறிலியின் அலகுகள் .... ஆகும்.

27. மீட்சிக் குணகத்தின் அலகுகள் .... ஆகும்.

28. பாகுநிலை விசை ஒரு .... விசை ஆகும்.

29. λ அலை நீளமும் X திசையில் v திசைவேகமும் கொண்ட சமதள முன்னேறு அலை ஒன்றிற்கான தொடர்பு....... ஆகும்.

30. விம்மல்களின் அதிர்வெண் அவற்றிற்குக் காரணமான ஒலி அலைகளின் அதிர்வெண்களின் ....ச் சமமாகும்.

31. ஒலி பரவும் ஊடகம் ஒன்றின் அழுத்தம் மற்றும் பரும மாறுபாடுகள் .... மாறுபாடுகளாகும்,

32. வெப்பநிலை மிகும்பொழுது ஒலியின் திசைவேகம்..........

33. வாயு ஒன்றின் அழுத்தம் மிகும் பொழுது அதன் வழியே யான ஒலியின் திசைவேகம்...................

34. ஒலியானது வாயு ஒன்றின் வழியே .... அலைகள் வடிவில் பரவுகிறது.

35. கோணத் திசைவேகத்தை வரையறுத்துக்கூறுக. அதன் பரிமாணங்களைத் தருக.

36. நிலைமத் திருப்புதிறனை வரையறுத்துக்கூறுக. அதன் அலகுகள் யாவை ?

37. பின்வரும் பொருள்களின் நிலைமத் திருப்புதிறன்களைத் தருக.

(i) மெல்லிய சீரான செவ்வக வடிவத் தகடு ஒன்றின் மையம் வழியாக அதன் தளத்திற்கு நேர்குத்தாகச் செல்லும் அச்சைப்பற்றிய நிலைமத் திருப்புதிறன்.

(ii) சீரான வளையம் ஒன்றின் தொடுகோட்டைப் பற்றிய நிலைமத் திருப்புதிறன்.

(iii) சீரான வட்டத்தட்டு ஒன்றின் மையம் வழியாக அதன் தளத்திற்கு நேர்குத்தாக அமைந்த அச்சைப்பற்றிய நிலைமத் திருப்புதிறன்.

38. கோண உந்த அழிவின்மை விதியைக் கூறுக.

39. கோள்களின் இயக்கம் பற்றிய விதிகளைக் கூறுக.

40. ஈர்ப்பியலைப்பற்றிய நியூட்டன் விதியைக் கூறுக. ஈர்ப்பு மாறிலியின் பரிமாணங்களைத் தருக.

41. திரிபு, தகைவு மற்றும் மீட்சிக் குணகம் ஆகியவற்றை வரையறுத்துக் கூறுக.

42. மூவகை மீட்சிக் குணகங்களை வரையறுத்துக் கூறுக.

43. பாகியல் எண்ணை வரையறுத்துக் கூறுக. அதன் அலகுகளைத் தருக.

44. சமதள முன்னேறு அலைகள் என்பவை யாவை?

45. விம்மல்கள் என்பவை யாவை ?

46. நேர்கோட்டுத் திசைவேகத்திற்கும், கோணத் திசைவேகத்திற்குமுள்ள தொடர்பைப் பெறுக.

47. நிலைமத் திருப்புதிறன்கள் பற்றிய தேற்றங்களைக் கூறி விளக்குக.

48. கோண உந்தத்தை விளக்குக. பொருளொன்றின் கோண உந்தத்திற்கான கோவையைப் பெறுக.

49. சுழலும் திண்பொருள் ஒன்றின் மீதான திருப்பு விசையானது அதன் கோண உந்தம் மாறுபடும் வீதத்திற்குச் சமமென நிறுவுக.

50. ஈர்ப்பியல் விதியை நிலைநாட்டும் நிகழ்ச்சி ஒன்றைத் தருக.

51. கம்பிப் பொருளொன்றின் யங் குணகத்தைக் காண்பதற்கான சோதனையை விளக்குக.

52. நுண்குழாய் ஒன்றின் வழியே ஒரு செகண்டில் செல்லும் திரவத்தின் பருமனுக்கான ப்வாசொய்த் தொடர்பினைப் பெறுக.

53. நீரின் பாகியல் எண்ணைக் காண்பதற்கான சோதனையை விளக்குக.

54. சுழல் பம்பு ஒன்றையும் அது தொழிற்படுமுறையையும் விளக்குக.

55. வாரன் பம்பின் தத்துவம், அமைப்பு மற்றும் செயல்படு முறை ஆகியவற்றை விளக்குக.

56. மக்லியாடு அளவியை விளக்கி அதனைக் கொண்டு குறை யழுத்தங்களை அளவிடும் முறையை விளக்குக.

57. சமதள முன்னேறு அலை ஒன்றிற்கான தொடர்பைப் பெறுக.

58. விம்மல்களை விளக்குக. அவற்றின் அதிர்வெண் அவற்றின் தாயதிர்வெண்களின் வேறுபாட்டிற்குச் சமமென நிறுவுக.

59. லிசாஜோ படங்கள் யாவை? அவை எவ்வாறு வரையப் படுகின்றன என்று விளக்குக.

60. லிசாஜோ படங்களை உருவாக்குவதற்கான சோதனை ஒன்றை விளக்குக,

61. வாயு ஒன்றில் ஒலியின் திசைவேகத்திற்கான நியூட்டன் லாப்லஸ் தொடர்பைத் தருக. திசைவேகத்தின் மீதான அழுத்தம் மற்றும் வெப்ப நிலைகளின் விளைவுகளை ஆராய்க.

62. 3 மீட்டர் நீளமும் 1 மிமீ. விட்டமும் கொண்ட செப்புக் கம்பி ஒன்றில் 5 கிகி எடை ஒன்று தொங்கவிடப் பட்டுள்ளது. கம்பியின் நீட்சியைக் கணக்கிடுக. (செம் பின் நீட்சிக் குணகம் = 120 GPa) (0.39)

63. 3 மீட்டர் நீளமும் 1.25 சதுர மில்லிமீட்டர் குறுக்குப் பரப் பளவும் கொண்ட கம்பி ஒன்று 2 கி.கி எடைக்குச் சமமான நீட்சி விசைக்கு உட்படும் பொழுது 0.2 மிமீ அளவு நீட்சியுறுகிறது. கம்பிப் பொருளின் யங் குண கத்தைக் கணக்கிடுக. (196.0 GPa)

64. 200 மில்லிமீட்டர் காற்றின் அழுத்தமானது 1 மி,மீ பாதரச அளவுக்கு அதிகப்படுத்தப்படும் பொழுது அதன் பருமன் 0·265 மி.லி அளவு குறைவது காணப்படுகிறது. காற்றின் பருமக்குணகத்தைக் கணக்கிடுக. (102·5 KPa)

65. 1 மி.மீ விட்டமும் 0·2மீ. நீளமும் கொண்ட நுண்குழாய் ஒன்று 800 கி. கி மீ$^{-3}$ அடர்த்தி கொண்ட ஆல்கஹால் அடங்கிய பெரிய கலம் ஒன்றின் அடிப்பகுதியில் கிடை மட்டமாகப் பொருத்தப்பட்டுள்ளது. ஆல்கஹால் பரப்பி னின்றும் குழாயின் அச்சின் ஆழம் 0·3 மீ ஆகும். ஆல்கஹாலின் பாகியல் எண் 0·012 N s m^{-2} எனில்

5 நிமிடங்களில் குழாய் வழியே வெளியேறும் ஆல்கஹா லின் பருமனைக் கணக்கிடுக. (7·2 மி.லி)

66. இரு இசைக்கவைகளை ஒருங்கே அதிர்வூட்டும் பொழுது செகண்டுக்கு 4 விம்மல்கள் தோன்றுகின்றன. அவற்றுள் ஒன்று 0·43 மீட்டர் சோனாமீட்டர் கம்பியுடனும் மற்றொன்று 0·425 மீட்டர் நீளமுள்ள அதே இழுவிசை யிலமைந்த அதே சோனாமீட்டர் கம்பியுடனும் ஒத்ததிர்வு பெறுகின்றன. இசைக் கவைகளின் அதிர்வெண்களைக் கணக்கிடுக. (340,344)

67. காற்றில் நீரின் உறைநிலையில் ஒலியின் திசைவேகம் 332.0 மீசெ$^{-1}$ ஆகும். கார்பன்-டை ஆக்ஸைடில் 100°C வெப்ப நிலையில் ஒலியின் திசைவேகத்தைக் காண்க. படித்தர வெப்ப நிலை, அழுத்தத்தில் காற்றின் அடர்த்தி 1·293 கி.கி / மீ^{3} ; கார்பன்-டை ஆக்ஸைடின் அடர்த்தி 1·977 கி.கி/மீ^{3}. காற்றுக்குரிய γ மதிப்பு 1·4 ; கார்பன் டை ஆக்ஸைடுக்குரிய அம் மதிப்பு 1·3. (302·4 மீசெ$^{-1}$)

2. வெப்ப இயற்பியல்

2. 1. வாயுக்களின் இயக்கவியற் கொள்கை

2. 1. 1. முன்னுரை

வாயுக்களின் செயற்பாங்கினை அவற்றின் இயக்கவியற் கொள்கையின் அடிப்படையில் விளக்கலாம். முதன் முதலாக 1730-ஆம் ஆண்டில் டேனியல் பெர்னௌளி என்பவர் மூலக்கூறு இயக்கங்களின் அடிப்படையில் பாயில் விதியை விளக்கியதோடு இயக்கவியற் கொள்கையையும் உருவாக்கினார். எனவே, அவரே நவீன இயக்கவியற் கொள்கையின் தந்தையாகக் கருதப்படுகிறார். இயக்கவியற் கொள்கையின் கணிதவியல் அடிப்படைகள் கிளாஷஸ், மாக்ஸ்வெல் போல்ட்ஸ்மன், ஜீன்ஸ், வான்டெர்வர்ல்ஸ், லொரென்ட்ஸ் மற்றும் ராலே ஆகியோரால் உருவாக்கப்பட்டன.

இயக்கவியற் கொள்கையானது பின்வரும் எடுகோள்களை அடிப்படையாகக் கொண்டுள்ளது, இந்த எடுகோள்கள் இயக்கவியற் கொள்கை பற்றிய எடுகோள்கள் எனப் பொதுவாக அழைக்கப் பெறுகின்றன.

2.1.2. வாயுக்களின் இயக்கவியற் கொள்கை பற்றிய எடுகோள்கள்

1. ஒரு வாயுவானது மிகப்பெரும் எண்ணிக்கையிலமைந்த மூலக்கூறுகள் எனப்படும் திண்துகள்களால் ஆனது.
2. வாயு மூலக்கூறுகள் முழு மீட்சித்திறம் கொண்ட கோளங்களாகும்.
3. வாயுமூலக் கூறுகள் எல்லா வகையிலும் முழுதொத்தவையாகும்.

4. மூலக்கூறுகள் பல்வேறுபட்ட திசைவேகங்களுடன் எல்லாத் திசைகளிலும் இயங்குகின்றன.

5. அத்தகைய இயக்கத்தின் போது மூலக்கூறுகள் ஒன்றோடொன்று வாயு அடங்கிய கலத்தின் சுவர்களுடனும் மோதிக் கொள்கின்றன.

6. மோதல்களுக்கிடையே மூலக்கூறுகள் மாறாத திசைவேகத்துடன் நேர்கோட்டில் இயங்குகின்றன.

7. மோதலுறும் நேரம் புறக்கணிக்கத் தக்கதாகும்.

8. மூலக்கூறு ஒன்று அடுத்தடுத்த இரு மோதல்களுக்கிடையே கடக்கும் சராசரித் தொலைவு சராசரி மேலிடைத் தூரம் (mean free path) எனப்படுகிறது.

9. இரு மூலக்கூறுகளுக்கிடையேயான ஈர்ப்புவிசை புறக்கணிக்கத் தக்கதாகும்.

10. வாயுவின் பருமனை நோக்க மூலக்கூறுகளின் பருமன் புறக்கணிக்கத் தக்கதாகும்.

மேற்கூறப்பட்ட எடுகோள்களின் உதவியால் ஒரு வாயுவின் பெரும்பான்மையான பண்புகளை விளக்க முடியும்.

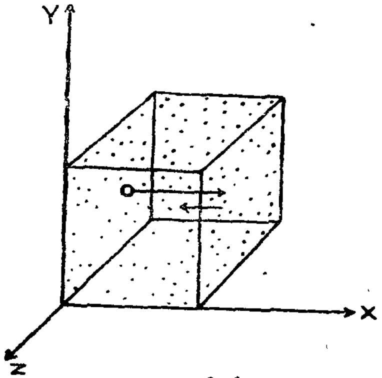
இயக்கவியற் கொள்கையின் அடிப்படையில் வாயு ஒன்றின் அழுத்தத்திற்கான கோவையைப் பெறலாம்.

2. 1. 3. வாயு ஒன்றின் அழுத்தம்

வாயு ஒன்றை உள்ளடக்கிய கனசதுரக்கலம் ஒன்றைக் கருதுவோம். கலத்தின் நீள, அகல, உயரங்கள் ஒவ்வொன்றும் ஒரு மீட்டர் எனவும் அதனுள் அமைந்த மூலக்கூறுகளின் எண்ணிக்கை n எனவும் இருக்கட்டும். (அதாவது வாயுவின் ஓரலகுப் பருமனில் அமைந்த மூலக்கூறுகளின் எண்ணிக்கை n ஆகும்).

இயக்கவியற் கொள்கையைப் பற்றிய எடுகோள்களின்படி மூலக்கூறுகள் எல்லாத் திசைகளிலும் அங்குமிங்குமாக ஒழுங்கின்றி இயங்குகின்றன. அத்தகைய ஒழுங்கற்ற இயக்கத்தின்போது அவை ஒன்றுடன் ஒன்றும், கலத்தின் சுவர்களுடனும் மோதிக் கொள்கின்றன. இந்த மூலக்கூறுகள் முழு மீட்சியுடையதாகக் கருதப்படும்

சுவர்களின்மீது விசையொன்றைச் செயற்படுத்துகின்றன. கலத்தின் சுவர்களால் உணரப்படும் இவ்விசையே வாயுவின் அழுத்தமாகும். இவ்வாறாக, ஒரு வாயுவின் அழுத்தமானது கலத்தின் சுவர்களுடன் ஏற்படும் மூலக்கூறுகளின் மோதலால் விளைகிறது.



படம் 2-1
வாயுவின் அழுத்தம் காணல்

v என்ற திசை வேகத்துடன் இயங்கும் மூலக்கூறு ஒன்றைக் கருதுவோம். இந்த மூலக் கூறானது X திசையில் இயங்கி, கலத்தின் சுவரினை நேர்குத்தாக மோதுவதாகக் கொள்வோம். மோதல் மீட்சியுறு மோதலாதலால் மூலக்கூறானது $-v$ என்ற திசைவேகத்துடனேயே மீண்டெழும்.

மோதலுக்குமுன் உந்தம் $= mv$

மோதலுக்குப்பின் உந்தம் $= -mv$

∴ உந்த மாறுபாடு $= mv - (-mv) = 2mv$

அந்த மூலக்கூறு 2 மீட்டர் தொலைவைக் கடந்தபின் மீண்டும் அதே சுவரில் மோதும்.

இத்தொலைவைக் கடப்பதற்கான நேரம் $= \frac{2}{v}$

∴ ஒரு செகண்டில் விளையும் மோதல்களின் எண்ணிக்கை $= \frac{v}{2}$

∴ ஒரு மூலக்கூறுக்கான உந்த மாறுபாடு வீதம்

= ஒரு மோதலுக்கான உந்த மாறுபாடு × ஒரு செகண்டில் விளையும் மோதல்களின் எண்ணிக்கை

$= 2mv \times \frac{v}{2} = mv^2$

நியூட்டனின் இரண்டாவது விதிப்படி, இந்த உந்தமாறுபாட்டு வீதம் விசைக்குச் சமமாகும். எனவே, ஒரு சுவரின்மீது ஒரு மூலக்கூறு செயற்படுத்தும் விசை mv^2 ஆகும். X, Y, Z ஆகிய ஒவ்வொரு திசையிலும் சராசரியாக $\frac{n}{3}$ மூலக்கூறுகள் இயங்குவதாகக் கருத

லாம். எனவே, ஒரு சுவரின்மீது $\frac{n}{3}$ மூலக்கூறுகளின் மோதலால் விளையும் விசை $\frac{n}{3} mv^2$ ஆகும்.

ஓரலகுப் பரப்பின் மீதான விசை அழுத்தமாகும். கன சதுரத்தின் ஒவ்வொரு சுவரின் பரப்பும் ஒரு சதுர மீட்டர் ஆதலால் $\frac{n}{3}mv^2$ என்பது வாயுவின் அழுத்தத்திற்குச் (P) சமமாகும்.

$$\therefore \quad P = \frac{n}{3} mv^2 \qquad (1)$$

மூலக்கூறுகள் யாவும் அதே திசை வேகத்துடன் இயங்காவாதலால் c^2 என்பது அவற்றின் சராசரி இருமடித் திசைவேகமெனில் அதாவது, தனித்தனி மூலக்கூறுகளின் திசை வேகங்களின் இருமடிகளின் சராசரி எனில், v^2க்குப் பதில் c^2 என எழுதலாம்.

வாயுவில் அமைந்த n மூலக்கூறுகளின் திசை வேகங்கள் $c_1, c_2, c_3 \ldots\ldots\ldots c_n$ எனில் $c^2 = \frac{c_1^2 + c_2^2 + \ldots\ldots + c_n^2}{n}$ ஆகும். எனவே, வாயுவின் அழுத்தத்திற்கான கோவையை

$$P = \frac{n}{3} mc^2 \qquad (2)$$

என எழுதலாம்.

திசைவேகத்தின் இருமடிச் சராசரியின் இருமடி மூலம் (Root Mean Square Velocity)

அழுத்தத்திற்கான கோவையில் $C = \left(\sqrt{c^2}\right)$ என்பது RMS திசைவேகம் அதாவது, திசைவேகத்தின் இருமடிச் சராசரியின் இருமடி மூலம் என அழைக்கப்படுகிறது.

இனி, n m என்பது ஓரலகுப் பரும வாயுவின் நிறை ஆதலால் வாயுவின் அடர்த்தி $\rho = n\,m$ ஆகும். எனவே சமன் [2] ஐ

$$P = \frac{1}{3} \rho C^2 \qquad (3)$$

என எழுதலாம்.

2.1.4. இயக்கவியற் கொள்கை தரும் முடிவுகள்

(1) வெப்பநிலைக்கான இயக்கவியற் கொள்கை விளக்கம்

வாயுவின் மூலக்கூறெடை M, மூலக்கூறுப் பருமன் V எனில் அடர்த்தி $\rho = \frac{M}{V}$ ஆகும். அடர்த்திக்கான இம்மதிப்பைச் சமன் (3-)ல் பதிலீடு செய்வோமாயின்.

$$P = \frac{1}{3}\frac{M}{V}C^2$$

ஆகும். எனவே, $PV = \frac{1}{3}MC^2$ (4)

வாயு ஒன்றின் கெல்வின் வெப்பநிலை T, ஒரு மோலுக்கான வாயு மாறிலி R எனில் ஒரு மோல் இலட்சிய வாயு ஒன்றிற்கு

$$PV = RT$$

ஆகும். இவ்விரு சமன்பாடுகளை ஒப்புநோக்குவோமாயின்

$$\frac{1}{3}MC^3 = RT$$

ஆகும். சமன்பாட்டின் இருபுறமும் $\frac{3}{2}$ ஆல் பெருக்க

$$\frac{1}{2}MC^2 = \frac{3}{2}RT$$

அதாவது, இயக்க ஆற்றல் $= \frac{3}{2}RT$

$\therefore$ இயக்க ஆற்றல் $\propto T$ (5)

எனவே, வாயு ஒன்றின் மூலக் கூறுகளின் மொத்த இயக்க ஆற்றல் அதன் கெல்வின் வெப்பநிலைக்கு நேர் விகிதத்திலுள்ளது என அறியலாம்.

(2) அழுத்தமும் இயக்க ஆற்றலும்

சமன் (2)-ல் nm என்பது வாயுவின் ஓரலகுப் பருமனின் மொத்த நிறையைக் குறிப்பதாகும். அது M_1 என இருக்கட்டும். எனவே $P = \frac{1}{3}nmC^2$ என்ற சமன்பாட்டினை $P = \frac{1}{3}M_1C^2$ என எழுதலாம்.

$$\therefore \quad P = \frac{2}{3} \cdot \frac{1}{2}M_1C^2$$

அதாவது $P = \frac{2}{3}$(இயக்க ஆற்றல்)

எனவே வாயு ஒன்றின் அழுத்தமானது அதன் ஓரலகுப் பருமனுக்கான சராசரி இயக்க ஆற்றலில் மூன்றில் இரு பகுதிக்குச் சமமாகும்.

(3) பாயில் விதி

சமன் (3)-லிருந்து $P = \frac{1}{3} \rho C^2$

$\therefore$ C^2 மாறிலியாகும் போது $P \propto \rho$

$\rho \propto \frac{1}{V}$ ஆதலால், C^2 மாறிலியாகும் போது $P \propto \frac{1}{V}$

அதாவது, $C^2 \propto T$ ஆதலால் மாறிலியாகும் போது $P \propto \frac{1}{V}$

$\therefore$ T மாறிலியாகும் போது PV = ஒரு மாறிலியாகும்.

இதுவே பாயில் விதியாகும்.

(4) சார்லஸ் விதி

சமன் (4) லிருந்து $PV = \frac{1}{3} M C^2$

அதாவது, PV = ஒரு மாறிலி $\times C^2$

$\therefore$ $PV \propto C^2$

$\therefore$ $PV \propto T$ $(\because C^2 \propto T)$

அதாவது V மாறிலியாகும் போது $P \propto T$

P மாறிலியாகும் போது $V \propto T$

இதுவே சார்லஸ் விதியாகும்.

இவ்வாறே அவகெட்ரோ விதி, விரவலைப் பற்றிய கிரஹாம் விதி மற்றும் பகுதி அழுத்தங்களைப் பற்றிய டால்டன் விதி ஆகியவற்றையும் இயக்கவியற்கொள்கையின் அடிப்படையில் நிறுவலாம்.

2.1.4. மாதிரிக் கணக்குகள்

(1) வளி அழுத்தத்தில் நைட்ரஜனின் அடர்த்தி 1·25 கி.கி.மீ$^{-3}$ ஆகும். நைட்ரஜன் மூலக்கூறுகளின் RMS திசைவேகத்தைக் காண்க.

அழுத்தம் $P = \frac{1}{3} \rho C^2$

$$\therefore \quad C^2 = \frac{3P}{\rho}$$

$$\sqrt{C^2} = C_{RMS}$$

$$\therefore C_{RMS} = \sqrt{\frac{3P}{\rho}}$$

P = 0·76 மீட்டர் பாதரச அழுத்தம்

= $0{\cdot}76 \times 13{\cdot}6 \times 10^3 \times 9.8$ நியூட்டன் மீட்டர்$^{-2}$

ρ = 1·25 கிகி மீ$^{-3}$

$$\therefore C_{RMS} = \sqrt{\frac{3 \times 0{\cdot}76 \times 13.6 \times 10^3 \times 9{\cdot}8}{1{\cdot}25}}$$

= 493 மீட்டர்/செகண்டு

நைட்ரஜன் மூலக்கூறுகளின் RMS திசைவேகம் = 493 மீ செ$^{-1}$.

(2) படித்தர வெப்பநிலை அழுத்தத்தில் (ப. வெ. அ.—STP) ஹைடிரஜனின் அடர்த்தி 0·09 கிகி மீ$^{-3}$ ஆகும், படித்தர அழுத்தம் 10^5 நியூட்டன்/சதுர மீட்டர் ஆகும். ஹைடிரஜன் மூலக் கூறுகளின் RMS திசைவேகத்தைக் கணக்கிடுக.

$$C_{RMS} = \sqrt{\frac{3P}{\rho}}$$

$$= \sqrt{\frac{3 \times 10^5}{0{\cdot}09}}$$

= 1826 மீ/செ

∴ ஹைடிரஜன் மூலக்கூறுகளின் RMS திசைவேகம் = 1826 மீ செ$^{-1}$

(3) மாறா அழுத்தத்தில் ஹைடிரஜனின் RMS திசைவேகமானது ப. வெ. அ-ல் அதன் மதிப்பைப் போல் இருமடங்காக அமையும் வெப்பநிலையைக் காண்க.

படித்தர வெப்பநிலை (273K) அழுத்தத்தில் RMS திசைவேகம் C_0 எனவும் T K வெப்பநிலையில் RMS திசைவேகம் $C = 2C_0$ எனவும் கொள்வோம்.

$C \propto \sqrt{T}$ என அறிவோம்

$$\therefore \quad C_0 \propto \sqrt{273}$$

$$\therefore \quad \frac{C}{C_0} = \sqrt{\frac{T}{273}}$$

$$\therefore \quad \frac{2C_0}{C_0} = \sqrt{\frac{T}{273}} \qquad (\because C = 2\,C_0)$$

$$\therefore \quad 2 = \frac{\sqrt{T}}{\sqrt{273}}$$

இருமடிகாணின் $4 = \dfrac{T}{273}$

$$\therefore \quad T = 273 \times 4$$

$$= 1092 \text{ K}$$

∴ ஹைடிரஜனின் RMS திசை வேகமானது ப. வெ. அ-ல் அதன் மதிப்பைப் போல் இருமடங்காக அமையும் வெப்ப நிலை 1092 K ஆகும்.

(4) ப. வெ. அ-ல் காற்றின் அடர்த்தி 1·29 கி கி மீ$^{-3}$ $P = 10^5$ நி. மீ$^{-2}$ எனில் 500 K வெப்ப நிலையில் காற்றின் RMS திசை வேகத்தைக் கணக்கிடுக.

ப. வெ. அ-ல் $C_{RMS} = \sqrt{\dfrac{3P}{\rho}}$

$$= \sqrt{\frac{3 \times 10^5}{1 \cdot 29}}$$

$$= 4 \cdot 82 \times 10^2 \text{ மீ செ}^{-1}$$

∴ ப. வெ. அ-ல் காற்றின்

RMS திசைவேகம் $C_0 = 4 \cdot 82 \times 10^2$ மீ செ$^{-1}$

$C \propto \sqrt{T}$ ஆதலால், $C_0 \propto \sqrt{273}$

$\therefore$ 500 K வெப்ப நிலையில் $C \propto \sqrt{500}$

$$\therefore \quad \frac{C}{C_0} = \sqrt{\frac{500}{273}}$$

$$C = C_0 \sqrt{\frac{500}{273}}$$

$$= 4{\cdot}82 \times 10^2 \sqrt{\frac{500}{273}}$$

$$= 6{\cdot}525 \times 10^2 \text{ மீ செ}^{-1}$$

$\therefore$ 500 K வெப்ப நிலையில் காற்றின் RMS திசைவேகம்

$$= 6{\cdot}525 \times 10^2 \text{ மீ. செ}^{-1}$$

படித்தர வெப்ப நிலை அழுத்தத்தில் சில வாயுக்களின் RMS திசைவேகங்களைப் பின்வரும் அட்டவணையில் காணலாம்.

வாயு	ப. வெ. அ-ல் RMS திசைவேகம் மீ. செ$^{-1}$
ஹைடிரஜன்	1826
ஹீலியம்	1310
நைட்ரஜன்	490
காற்று	486
ஆக்ஸிஜன்	460
கார்பன்டை ஆக்ஸைடு	392

2. 1. 6. சராசரி மோதலிடைத்தூரம்

வாயுமூலக்கூறு ஒன்று இரு மோதல்களுக்கிடையே கடக்கும் தொலைவு மோதலிடைத் தூரம் என அழைக்கப்பெறுகிறது. வாயு மூலக்கூறு ஒன்று இரு அடுத்தடுத்த மோதல்களுக்கிடையே கடக்கும் சராசரித் தொலைவு சராசரி மோதலிடைத்தூரம் என அழைக்கப் பெறுகிறது.

இரு மூலக்கூறுகளின் மையங்களுக்கிடையே உள்ள தொலைவு மூலக்கூறு விட்டத்தை (σ) மிகாமல் இருக்கும்போது அவற்றிற் கிடையே மோதல் நிகழும்.

சராசரி மோதலிடைத் தூரமானது ஒரு கன சென்டிமீட்டர் பருமனிலுள்ள மூலக்கூறுகளின் எண்ணிக்கைக்கு எதிர்விகிதத்தி லுள்ளது என மாக்ஸ்வெல் நிறுவியுள்ளார். அதாவது, சராசரி மோதலிடைத் தூரமானது,

i. வாயுவின் அழுத்தத்திற்கு எதிர்விகிதத்திலுள்ளது.
ii. வாயுவின் கெல்வின் வெப்ப நிலைக்கு நேர்விகிதத்தி லுள்ளது.

பின்வரும் அட்டவணையில் ப. வெ. அ. ல் சில வாயுக்களின் மூலக்கூறு விட்டத்தையும், சராசரி மோதலிடைத் தூரத்தையும் காணலாம்.

வாயு	மூலக்கூறு விட்டம் (σ) 10^{-10} மீ	சராசரி மோதலிடைத் தூரம் 10^{-7} மீ
ஹைடிரஜன்	2·47	1·83
ஆக்ஸிஜன்	3·30	0·995
நைட்ரஜன்	3·50	0·944
ஹீலியம்	2·18	2·85

2. 2. வாயுக்களின் செயற்பாங்கு

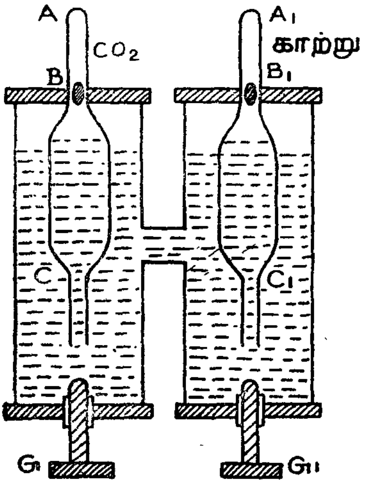
வாயுக்கள் பெரிதும் அமுக்கப்படக் கூடியவையாகும். வாயு ஒன்று அமுக்கப்படும்போது அதன் பருமன் குறைகிறது. மாறா வெப்ப நிலையில் ஒரு குறிப்பிட்ட நிறையுடைய வாயுவின் பருமன் அதன் அழுத்தத்திற்கு நேர்விகிதத்திலுள்ளது. என பாயில் கூறினார். தொடக்கத்தில் எல்லா வாயுக்களும் பாயில் விதிக்கு உட்படுகின்றன. எனக் கருதப்பட்டது. ஆயினும், பின்னர் டெஸ்பெரட்ஸ் (Desperetz) என்பவர் கார்பன்டை ஆக்ஸைடு மற்றும் அம்மோனியா போன்ற வாயுக்கள் பிற வாயுக்களைவிட மிகுந்த அளவில் அமுக்கப் படக் கூடியவை என நிறுவினார். ஹைடிரஜன், நைட்ரஜன், கார்பன்டைஆக்ஸைடு மற்றும் அம்மோனியா ஆகியவற்றின் பருமன், அழுத்தத்தைப் பொறுத்து மாறுபடும் பாங்கினை ஆராய்ந்த ரெனால்ட், இவ்வாயுக்கள் பாயில் விதிக்குக் குறையற உட்படுவ

தில்லை என அறிந்தார். அமகட் இதனை உறுதிப்படுத்தியதோடு இவ்வாயுக்கள் சில குறிப்பிட்ட சூழல்களில் பாயில் விதிக்கு உட்படுகின்றன எனவும் நிறுவினார்.

ஆண்ட்ரூஸ் என்பவர் கார்பன் டை ஆக்ஸைடைக் கொண்டு மேம்பட்ட சோதனைகளை நடத்தி மெய் வாயுக்களின் (Real Gases) செயற்பாங்கினைப் பற்றிய முறையான ஆய்வினை மேற்கொண்டார். அத்தகைய ஆய்வானது மாறுநிலை வெப்ப நிலையின் (Critical Temperature) கண்டு பிடிப்புக்கு வழி வகுத்தது.

2.2.1. கார்பன் டை ஆக்ஸைடு மீதான ஆண்ட்ரூஸ் சோதனைகள்

ஆண்ட்ரூஸ் வலிமை வாய்ந்த AB என்ற நுண்குழாய் ஒன்றைப் பயன்படுத்தினார். AB-ன் மேல் முனை மூடப்பட்டு, கீழ்முனை BC என்ற அகன்ற குழாயுடன் இணைக்கப்பட்டு உள்ளது. AB பகுதி அளவுக் குறியீடு செய்யப்பட்டுள்ளது. அதனுள் பாதரசக் குமிழ் ஒன்றினால் தூய கார்பன் டை ஆக்ஸைடு (CO_2) அடைக்கப் பட்டுள்ளது. ஒப்பு நோக்குவதற்கென AB க்கு அருகிலேயே அதனை யொத்த, காற்று அடங்கிய A_1B_1 என்ற ஒரு குழாயும் உள்ளது. இரு குழாய்களும் நீரடங்கிய செப்பு உருளிகளுள் அமைக்கப் பட்டுள்ளன. உருளிகளுள் நீரின் அழுத்தத்தை G, G_1 என்ற திருகுகளை இயக்குவதன் மூலம் மாற்றலாம். இரு உருளிகளும் அவற்றின் மையத்திலமைந்த ஒரு சிறு குழாயின் மூலம் இணைக்கப்பட்டுள்ளன. இதனால் அவற்றில் அழுத்தம் ஒரே அளவாய் இருக்கிறது. நுண்குழாய்ப் பகுதிகள் (படத்தில் குறிக்கப் பெறாத) மாறா வெப்ப நிலைக் கலம் ஒன்றினால் சூழப்பட்டுள்ளன.



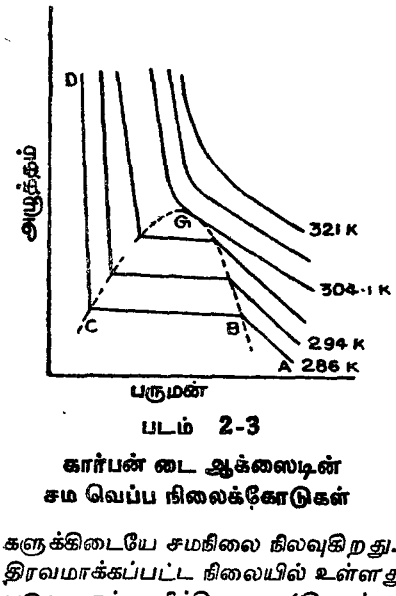
படம் 2-2
கார்பன் டை ஆக்சைடு பற்றிய ஆண்ட்ரூஸ் சோதனை

திருகுகளை இயக்குவதன் மூலம் பாதரசக் குமிழ்கள் நுண் குழாய்களுள் மேலேற்றப்படுகின்றன. AB, A_1B_1 ஆகிய குழாய்களுள் வாயுக்களின் பருமன்கள் குறைந்து அவற்றின் அழுத்தம் அதிகமாகிறது. வாயுக்களின் பருமன்கள் AB, A_1B_1

ஆகியவற்றில் உள்ள அளவுக் குறியீடுகளிலிருந்து நேரடியாக அளவிடப்படுகின்றன. முன்னரே குறியீடு செய்யப் பெற்ற திருகுகளின் நிலைகளிலிருந்து வாயுக்களின் அழுத்தம் அறியப்படுகிறது.

மாறா வெப்ப நிலையில் வெவ்வேறு அழுத்தங்களில் CO_2-ன் பருமன்கள் காணப்படுகின்றன. இக்காட்சிப் பதிவுகளை வெவ்வேறு வெப்ப நிலைகளில் செய்து, பரும அழுத்த மதிப்புக்களை முறையே X மற்றும் Y அச்சுக்களில் குறித்து வெவ்வேறு வெப்ப நிலைகளுக்கான வரைகோடுகள் வரையப்படுகின்றன. இவ்வரை கோடுகள் சம வெப்ப நிலைக்கோடுகள் என அழைக்கப் பெறுகின்றன. (படம் 2-3).

2.2.2. முடிவைப் பற்றிய ஆய்வுரை



படம் 2-3

கார்பன் டை ஆக்ஸைடின் சம வெப்ப நிலைக்கோடுகள்

ABCD என்பது 286 K என்ற குறைந்த வெப்ப நிலையிலான சமவெப்ப நிலைக்கோடாகும், AB என்ற பகுதியானது வாயு பாயில் விதிக்கு உட்படுவதைக் காட்டுகிறது. இப்பகுதி ஆவி நிலையைக் குறிக்கிறது. இப்பகுதியில் பருமன் குறையும்போது அழுத்தமானது பாயில் விதிக்கிணங்க அதிகமாகிறது. B முற்றிலும் தெவிட்டிய ஆவி நிலையைக் குறிக்கிறது. பருமன் மேலும் குறைக்கப்படும்போது திரவமாதல் தொடங்குகிறது BC பகுதியில் திரவ மற்றும் ஆவி நிலைகளுக்கிடையே சமநிலை நிலவுகிறது. C-இல் வாயுவானது முற்றிலும் திரவமாக்கப்பட்ட நிலையில் உள்ளது. CD பகுதி திரவம் அழுக்கப்படுவதைக் குறிக்கிறது. (திரவங்கள் எளிதில் அமுக்கப்பட முடியாதவை என்பதை நிறுவும் வகையில் CD ஏறத்தாழ செங்குத்தாக அமைந்துள்ளது.) உயர் வெப்ப நிலைகளுக்கான சமவெப்ப நிலைக்கோடுகள் ABCD-ஐ ஒத்துள்ளன. கிடைப் பகுதி BC-இன் நீளம் மெல்லமெல்ல குறைகிறது. திரவ, வாயு நிலைகள் ஒன்றையொன்று நெருங்குவதை இது குறிக்கிறது,

304.1 K வெப்ப நிலையில் கிடைப்பகுதியானது G என்ற புள்ளியாகச் சுருங்குகிறது. இப்புள்ளி பொருளின் மாறு நிலைப்

புள்ளி என அழைக்கப் பெறுகிறது. இப்புள்ளிக்குரிய அழுத்தமும பருமனும் முறையே மாறுநிலை அழுத்தம், மாறுநிலைப் பருமன் என அழைக்கப்பெறுகின்றன. கிடைப்பகுதி மறைந்து புள்ளியாகச் சுருங்கக் கூடிய இந்த சமவெப்ப நிலைக் கோடு மாறுநிலை சமவெப்ப நிலைக் கோடு என அழைக்கப் பெறுகிறது. மாறுநிலை சமவெப்ப நிலைக் கோட்டிற்குரிய வெப்ப நிலை வாயுவின் மாறுநிலை வெப்ப நிலை என அழைக்கப் பெறுகிறது.

மாறுநிலை வெப்ப நிலையில் ஒரு திரவத்திற்கும் அதன் வாயுவுக்குமிடையேயான வேறுபாடு மறைகிறது. அவையிரண்டும் அதே அடர்த்தியைக் கொண்டுள்ளன. மாறுநிலை வெப்ப நிலையைவிடக் குறைந்த வெப்ப நிலையிலுள்ள எந்தவொரு வாயுவும் ஆவி என அழைக்கப்படுகிறது.

2.2.3. மாறுநிலை மாறிலிகள்

மாறுநிலை வெப்ப நிலை (T_C) : எந்த வெப்ப நிலைக்குமேல் மிகப் பெருமளவு அழுத்தத்திற்கு உட்படுத்தப்பட்ட போதிலும் ஒரு வாயு திரவமாகாதோ அவ்வெப்ப நிலை அவ்வாயுவின் மாறுநிலை வெப்ப நிலை என அழைக்கப் பெறுகிறது.

மாறுநிலைப் பருமன் (V_C) : மாறுநிலை வெப்ப நிலை, மாறுநிலை அழுத்தத்தில் ஒரு வாயு அல்லது ஆவியின் ஓரலகு நிறைக்கான பருமன் மாறுநிலைப் பருமன் ஆகும்.

மாறுநிலை அழுத்தம் (P_C) : மாறுநிலை வெப்ப நிலையில் ஒரு வாயு அல்லது ஆவியைத் திரவமாக்குவதற்குத் தேவையான அழுத்தம் மாறுநிலை அழுத்தம் ஆகும்.

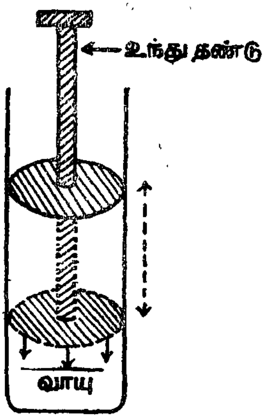
காக்னியார்டு டி லா டூர் என்பவர் வாயு ஒன்றின் மாறுநிலை வெப்ப நிலை மற்றும் மாறுநிலை அழுத்தத்தைக் காண்பதற்கான எளிய முறை ஒன்றை அமைத்தார். கைலெட்டெ, மத்தயாஸ் ஆகிய இருவரும் மாறுநிலைப் பருமனைக் காண்பதற்கான முறையைக் கண்டனர்.

2.3. சமவெப்ப நிலை மற்றும் வெப்ப மாற்றீடற்ற நிகழ்வுகள்

2.3.1: சம வெப்ப நிலை நிகழ்வு

மாறா வெப்ப நிலையில் வாயு ஒன்றின் அழுத்தம் மற்றும் பருமனில் ஏற்படும் மாற்றம் சம வெப்ப நிலை நிகழ்வு என அழைக்கப்படுகிறது.

உருளி ஒன்றினுள் இலேசான உந்துதண்டு ஒன்றினால் வாயு ஒன்று அழுக்கப்படுவதாகக் கொள்வோம். வாயுவின்மீது செய்யப் படும் வேலை வெப்பமாக மாற்றப்படுகிறது. உந்து தண்டு மெது வாக இயங்குவதாகவும் உருளியும் உந்துதண்டும் நற்கடத்திகளென வும் கொள்வோமாயின் உருவாக்கப்பட்ட வெப்பம் சுற்றுப்புறங் களுக்குக் கடத்தப்படும். எனவே, வாயு ஒன்று அழுக்கப்படும் போது அதன் அழுத்தம் மிகுந்து பருமன் குறைகிறது : உருவாக்கப் பட்ட வெப்பம் வெளியேற்றப்படுவதால் வெப்ப நிலை மாறாமல் உள்ளது. இத்தகைய மாற்றம் சமவெப்ப நிலை நிகழ்வாகும்.



படம் 2-4
சம வெப்ப நிலை நிகழ்வு

அவ்வாறே வாயு ஒன்று விரிவடையு மாயின் வாயுவினால் வேலை செய்யப் படும். இதற்குத் தேவையான ஆற்றல் வாயுவிலிருந்தே , பெறப்படுகிறது. எனவே வாயுவின் வெப்ப நிலை குறை கிறது. வாயுவின் விரிவாக்கம் மெது வாக நிகழ்ந்து, உருளியும் உந்து தண்டும் நற்கடத்திகளாகவும் அமையு மாயின், சுற்றுப்புறத்திலிருந்து வெப்பம் ஏற்கப்பட்டு வாயுவின் வெப்ப நிலை மாறாமல் அமையும். இவ்வாறுக, வாயு ஒன்று விரிவடையும் போது அதன் பருமன் மிகுந்து அழுத்தம் குறை கிறது ; புறத்தேயிருந்து வெப்பத்தை ஏற்று வெப்ப நிலை மாறாமல் உள்ளது. இதுவும் ஒரு சம வெப்ப நிலை நிகழ் வாகும்.

இவ்வாறாக, சமவெப்ப நிலை நிகழ்வு ஒன்றில் வெப்பத்தை வெளியேற்றுவதன் மூலமோ, வெப்பத்தைச் சேர்ப்பதன் மூலமோ வெப்ப நிலை மாறாமல் நிலை நாட்டப் பெறுகிறது.

சமவெப்ப நிலை நிகழ்வுக்கான சமன்பாடு $PV =$ மாறிலி என்பதாகும்.

2.3.2. வெப்ப மாற்றீடற்ற நிகழ்வு

வாயு ஒன்றின் அழுத்தமும் பருமனும் மாறும்போது வெப்பம் வெளியேற்றப்படவோ அல்லது அளிக்கப்படவோ இல்லையெனில் அத்தகைய மாற்றம் வெப்ப மாற்றீடற்ற நிகழ்வு எனப்படுகிறது.

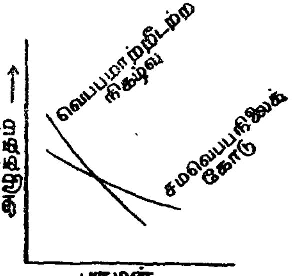
வாயுவானது விரைந்து அழுக்கப்பட்டோ அல்லது உருளியும் உந்து தண்டும் கடத்தாப் பொருள்களாகவோ அமையுமாயின் உரு வாக்கப்பட்ட வெப்பமானது வாயுவின் வெப்ப நிலையை உயர்த்து கிறது.

அவ்வாறே வாயு விரைந்து விரிவடையுமாயின் அதன் வெப்ப நிலை குறைகிறது.

இவ்வாறாக, வெப்ப மாற்றீடற்ற நிகழ்வில் வெப்பமானது புறத்தேயிருந்து வாயுவுக்கு அளிக்கப்படுவதோ, வாயுவிலிருந்து வெளியேற்றப்படுவதோ இல்லை; எனவே, வாயுவின் வெப்ப நிலை மாறாமல் இருப்பதில்லை.

γ என்பது வாயுவின் தன் வெப்ப ஏற்புத் திறன்களின் விகித மெனில் வெப்ப மாற்றீடற்ற நிகழ்வுக்கான சமன்பாடு PV^{γ} = மாறிலி என்பதாகும்.

வாயு ஒன்றின் பருமனை X அச்சிலும் அழுத்தத்தை Y அச்சிலும் குறித்து, அதன் அழுத்தம் மற்றும் பரும மாற்றங்களை வரைபடம் ஒன்றில் குறிக்கலாம். அத்தகைய வரைபடத்திலிருந்து வெப்ப மாற்றீடற்ற கோடானது சம வெப்ப நிலைக் கோட்டைவிட மிகுந்த வாட்டமுடையதாய் இருப்பது காணப்படுகிறது (படம் 2-5). வெப்ப மாற்றீடற்ற கோட்டின் வாட்டமானது சம வெப்ப நிலைக் கோட்டின் வாட்டத்தைப் போல்γ மடங்காக உள்ளது என நிறுவலாம்.



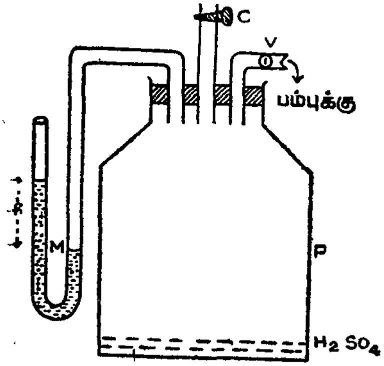
படம் 2-5
வெப்ப மாற்றீடற்ற நிகழ்வு-சம வெப்பநிலை நிகழ்வு-ஒப்புமை

2. 3. 3. வாயு ஒன்றின் தன் வெப்ப ஏற்புத்திறன்களின் விகிதத்தை மதிப்பிடல்—க்ளெமென்ட்-டிசார்ம சோதனை

வாயுக்களுக்கு இரு தன் வெப்ப ஏற்புத் திறன்கள் உள்ளன எனச் சென்ற ஆண்டு கண்டோம். அவையாவன, மாறா அழுத்தத் தன் வெப்ப ஏற்புத் திறன், C_P, மற்றும் மாறாப் பருமத் தன் வெப்ப ஏற்புத்திறன், C_V ஆகும். C_P, C_V ஆகியவற்றிற்கிடையேயான விகிதம் வாயுவின் தன் வெப்ப ஏற்புத் திறன்களின் விகிதம் என

அழைக்கப் பெறுகிறது, இந்த விகிதம் γ என்னும் குறியீட்டால் குறிக்கப் பெறுகிறது. அதாவது, $\gamma = \frac{C_P}{C_V}$

காற்றின் தன் வெப்ப ஏற்புத் திறன்களின் விகிதத்தை க்ளெமென்ட்-டிசார்ம் முறையில் மதிப்பிடலாம். இதற்கான அமைப்பில் இரப்பர் அடைப்பான் ஒன்றால் மூடப்பட்ட, F என்ற பெரிய குடுவை ஒன்று உள்ளது. அடைப்பானில் மூன்று துளைகள் உள்ளன. ஒரு துளையின் வழியே C என்ற அடைப்பான் ஒன்றுடன் கூடிய ஒரு அகலமான குழாய் செல்கிறது. இரண்டாவது துளையின் வழியாக அழுத்த மானி (M) ஒன்றுடன் இணைந்த குறுகலான குழாய் ஒன்று செல்கிறது. அழுத்த மானியில் எண்ணெய் உள்ளது. மூன்றாவது துளை வழியே மிதிவண்டிக் குழாய் வால்வு (V)டன் கூடிய குழாய் ஒன்று செல்கிறது. காற்றில் உள்ள நீராவியை அகற்றும் பொருட்டு குடுவையில் சிறிது செறிவேற்றப் பெற்ற கந்தக அமிலம் வைக்கப் பெற்றுள்ளது. குடுவையானது கம்பளியால் சூழப்பட்டு மரப்பெட்டி ஒன்றினுள் வைக்கப்பட்டுள்ளது.



படம் 2-6
கிளெமெண்ட் - டிசார்ம் முறை

செய்முறை :

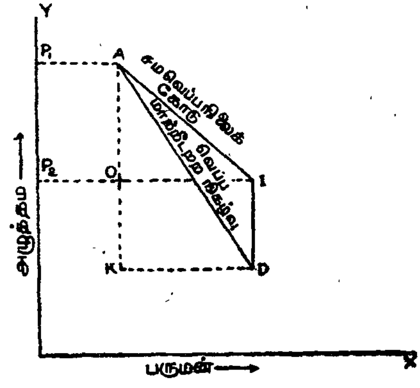
மிதிவண்டிப் பம்பு ஒன்றைப் பயன்படுத்தி, குடுவையினுள் அழுத்தமானது வளி அழுத்துவதைவிடச் சற்று அதிகமாக இருக்கும் வரை V என்ற வால்வின் வழியாகக் குடுவையினுள் காற்று செலுத்தப்படுகிறது. குடுவையினுள் செலுத்தப்பட்ட காற்றின் வெப்ப நிலை புறவெப்ப நிலையை அடையும் வரைச் சற்று நேரம் சென்ற பின்னர் அழுத்தமானியில் திரவமட்டங்களுக்கிடையேயான உயர வேறுபாடு அளவிடப் படுகிறது. அது h_1 என இருக்கட்டும்.

அடுத்து, அடைப்பான் (C) கண நேரத்திற்குத் திறந்து மூடப் படுகிறது. இப்பொழுது அழுத்தமானியில் உயரவேறுபாடு குறைந்து நிலையானதொரு மதிப்பைப் பெறுகிறது. இந்த உயர வேறுபாடு அளவிடப்படுகிறது. அது h_2 என இருக்கட்டும். இந்த அளவீடு

களிலிருந்து காற்றின் தன் வெப்ப ஏற்புத்திறன்களின் விகிதம் பின் வருமாறு கணக்கிடப்படுகிறது:

அடைப்பான் கண நேரத்திற்குத் திறந்து மூடப்பட்டபோது குடுவையினுள் உள்ள காற்று வெப்ப மாற்றீடற்ற முறையில் விரிவடைகிறது. அதன் அழுத்தமானது தொடக்க மதிப்பான P_1 $(= P_0 + h_1)$ - லிருந்து வளியழுத்தமான P_0-க்குக் குறைகிறது. இதன் காரணமாகக் குடுவையினுள் உள்ள காற்றின் வெப்ப நிலையானது புறவெப்ப நிலையைவிடக் குறைவாக அமையும்; சற்று நேரம் கடந்த பின்னர் புற வெப்பநிலையை அடையும். இந்நிலையில் அதன் அழுத்தம் P_2 $(= P_0 + h_2)$ ஆக உயரும். விரிவின் தொடக்கத்திலும் இறுதியிலும் வெப்பநிலை புறவெப்ப நிலைக்குச் சமமாக இருப்பதால் விரிவானது சமவெப்ப நிலை விரிவாக இருப்பினும் இறுதி அழுத்தம் P_2 ஆகவே இருக்கும்.

குடுவையின் பருமன் V_2 என இருக்கட்டும். காற்றின் தொடக்க அழுத்தம் P_1 ஆக இருக்கும்போது அதே நிறையுள்ள காற்றின் பருமன் V_1 (V_2 - ஐ விடக்குறைவு) என இருக்கட்டும். இந்தக் காற்றானது V_2 பருமனுக்கு விரிவடையும்போது அதன் அழுத்தம் P_2 ஆகும்.



படம் 2-7
காற்றின் அழுத்தம்—பருமமாற்றங்கள்

காற்றின் அழுத்த மற்றும் பரும மாற்றங்களுக்கான P - V வரைபடம் வரையப்படுமாயின் அது படத்திலுள்ளது போன்று (படம் 2-7) அமையும். படத்தில் A, D மற்றும் I ஆகியவை காற்றின் அடுத்தடுத்த மூன்று நிலைகளைக் குறிக்கின்றன. AD என்பது வெப்ப மாற்றீடற்ற கோடு; AI என்பது சம வெப்ப நிலைக் கோடு ஆகும். அவற்றை மிகச் சிறியனவாகக் கருதுவோமாயின்,

$$\text{வெப்ப மாற்றீடற்ற கோட்டின் வாட்டம்} = \frac{AK}{KD}$$

$$\text{சம வெப்பநிலைக் கோட்டின் வாட்டம்} = \frac{AO}{OI}$$

வாயுவின் தன் வெப்ப ஏற்புத்திறன்களின் விகிதமானது இவ்விரு வாட்டங்களின் விகிதத்திற்குச் சமமாதலால்

$$\gamma = \frac{\text{வெப்ப மாற்றீடற்ற கோட்டின் வாட்டம்}}{\text{சமவெப்ப நிலைக் கோட்டின் வாட்டம்}}$$

$$= \frac{AK/KD}{AO/OI}$$

$$= \frac{AK}{KD} \times \frac{OI}{AO}$$

$$= \frac{AK}{AO} \qquad (\because OI = KD)$$

$$= \frac{AK}{AK-KO}$$

$$\gamma = \frac{AK}{AK-ID} \qquad (\because ID = KO)$$

$$= \frac{P_1-P_0}{(P_1-P_0)-(P_2-P_0)}$$

$$\therefore \gamma = \frac{h_1}{h_1-h_2}$$

h_1, h_2 - ஐ அறிவோமாதலால் γ-இன் மதிப்பைக் கணக்கிட்டுக் கொள்ளலாம்.

சோதனையிலுள்ள பிழைகள் : (i) அடைப்பானைத் திடீரென்று திறந்து மூடும்பொழுது குடுவையிலுள்ள காற்று மேலும் கீழும் அலைவுறுகிறது. எனவே, அழுத்தமானியின் திரவ மட்டங்களும் அலைவுறுகின்றன. எனவே, h_2-ஐ நுட்பமாக மதிப்பிடுவது கடினமாகிறது.

(ii) அடைப்பான் திறந்து மூடப்படும் பொழுது குடுவையுனுள் உள்ள காற்றானது வளி அழுத்தத்திற்கு விரிவடைகிறதா எனக் கூற முடியாது. இத்தகைய பிழைகள் பார்ட்டிங்டன் முறையில் பெரிதும் குறைக்கப்படுகின்றன.

2. 4. வெப்ப இயக்கவியல்

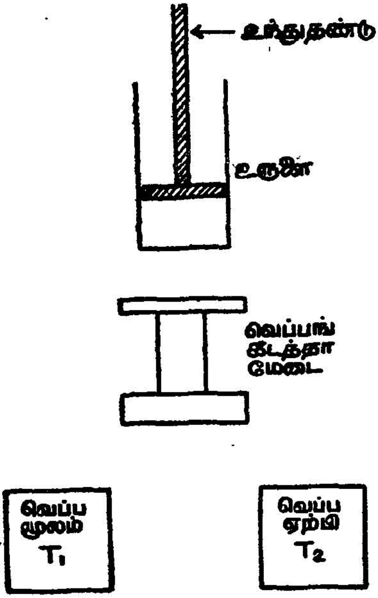
வெப்ப இயக்கவியல் முதல் விதியைப்பற்றிச் சென்ற ஆண்டு படித்திருக்கிறீர்கள். வெப்ப இயக்கவியல் இரண்டாம் விதியைப் பற்றி இங்கு காண்போம். வெப்ப எஞ்சின்களின் கண்டுபிடிப்பும் பல்வேறு தொழிற் துறைகளில் அவற்றின் பயன்பாடும் இரண்டாம்

விதியின் உருவாக்கத்திற்கான தொடக்கநிலை எனக் கூறலாம். இரண்டாம் விதியைப்பற்றி அறியுமுன் கார்னோ எஞ்சினைப்பற்றிக் காண்போம்.

2. 4. 1. கார்னோ எஞ்சின்

வெப்ப ஆற்றலை எந்திர ஆற்றலாக மாற்றக்கூடிய எந்தவொரு கருவியும் வெப்ப எஞ்சின் என அழைக்கப்பெறுகிறது. கார்னோ (Carnot) என்பவர் இலட்சிய வெப்ப எஞ்சின் ஒன்றை எடுத்துரைத்தார். அது கார்னோ எஞ்சின் என அழைக்கப்பெறுகிறது.

கார்னோ எஞ்சின் ஒன்று பின்வரும் உறுப்புக்களைக் கொண்டுள்ளது :



படம் 2-8
கார்னோ எஞ்சின்

1. T_1 என்ற உயர்வெப்ப நிலையிலுள்ள ஒரு வெப்ப ஊற்று. வெப்ப எஞ்சின் இதனினறும் எந்த அளவு வெப்பத்தையும் ஏற்றுக் கொள்ளக் கூடும்.

2. T_2 என்ற குறைந்த வெப்ப நிலையிலுள்ள ஒரு வெப்ப ஏற்பி. எந்த அளவு வெப்பத்தையும் இதற்கு அளிக்க முடியும்.

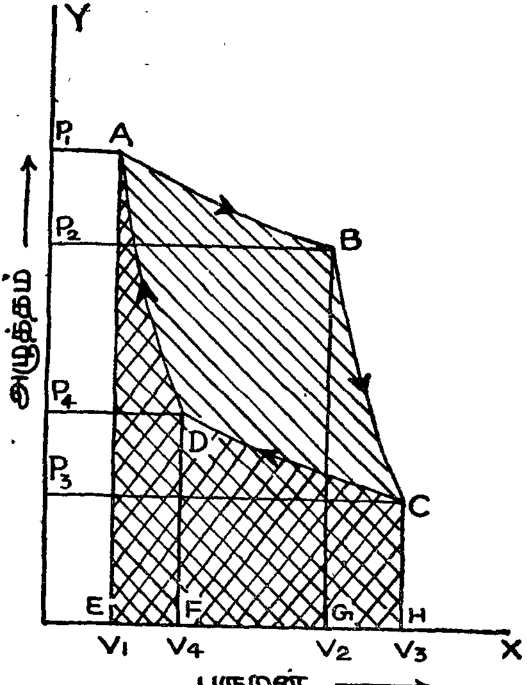
3. கடத்தாப் பொருளாலான சுவர்களையும் இலட்சிய கடத்து பொருளாலான அடிப்பகுதியையும் கொண்டதொரு உருளி. இதனுள் இலேசான, உராய்வற்ற உந்து தண்டு ஒன்று இயங்குகிறது. உருளியினுள் அமைந்த இலட்சிய வாயு தொழிற்படு பொருளாகச் செயற்படுகிறது.

4. வெப்பங் கடத்தா மேடை அதாவது கடத்தாப் பொருளாலானதொரு மேடை

தொழிற்படு பொருளான வாயு, நான்கு நிகழ்வுகளைக் கொண்ட ஒரு நிகழ்ச்சிச் சுற்றினை மேற்கொள்கிறது. அது கார்னோ சுற்று என அழைக்கப்படுகிறது.

2. 4. 2. சுட்டுப்படம் (Indicator Diagram)

கார்னோ சுற்றினை P-V வரைபடம் ஒன்றில் குறிக்கலாம். வாயுவின் பரும மதிப்புக்களை X-அச்சிலும் அழுத்த மதிப்புக்களை Y-அச்சிலும் குறித்து பெறப்படும் வரைகோடுகளை எல்லைகளாகக் கொண்ட படம் (படம் 2-9) சுட்டுப்படம் எனப்பெறுகிறது. இந்த வரைகோடுகள் தொழிற்படுபொருளின் வெவ்வேறு நிலைகள் அல்லது நிகழ்வுகளைக் குறிக்கின்றன.



படம் 2-9
கார்னோ சுற்று

நிகழ்வு I : தொழிற்படு பொருளின் தொடக்க அழுத்தம் P_1 எனவும் தொடக்கப் பருமன் V_1 எனவும் கொள்வோம். இந்நிலையைச் சுட்டுப்படத்தில் A என்ற புள்ளி குறிக்கிறது. உருளியானது வெப்ப ஊற்றின்மீது வைக்கப்பட்டு வாயுவானது சமவெப்ப நிலையில் அதாவது, வெப்ப நிலை மாற்றமின்றி விரிவடையுமாறு செய்யப்படுகிறது. வாயுவின் பருமன் V_1-லிருந்து V_2-க்கு அதிகமா

கிறது. அழுத்தம் P_1-லிருந்து P_2-க்குக் குறைகிறது. இந்த விரிவு AB என்ற வரை கோட்டால் குறிக்கப் பெறுகிறது. இவ்விரிவின் போது வாயுவானது வெப்ப ஊற்றிலிருந்து T_1 என்ற மாறா வெப்ப நிலையில் Q_1 ஜூல்கள் வெப்பத்தை ஏற்கிறது. வாயுவால் வேலை செய்யப்படுகிறது. இவ்வேலையின் அளவு (இடமிருந்து வலமாக் நிழலிடப்பட்ட) ABGEA என்ற பரப்பளவுக்குச் சமமாகும்.

நிகழ்வு II : உருளியானது வெப்பங்கடத்தா மேடைமீது வைக்கப்பட்டு வாயுவானது BC வழியே வெப்ப மாற்றீடற்ற முறையில் விரிவடையுமாறு செய்யப்படுகிறது. அதன் பருமன் V_2-லிருந்து V_3-க்கு அதிகமாகிறது ; அழுத்தம் P_2லிருந்து P_3-க்குக் குறைகிறது. வாயுவால் வேலை செய்யப்படுகிறது. வாயுவானது மேடையினின்றும் வெப்பமெதையும் ஏற்க முடியாதாகையால் அதன் வெப்ப நிலை T_1-லிருந்து T_2-க்குக் குறைகிறது. செய்யப்பட்ட வேலையின் அளவு (இடமிருந்து வலமாக நிழலிடப்பட்ட) BCHGB என்ற பரப்பளவுக்குச் சமமாகும்.

நிகழ்வு III : அடுத்து உருளி வெப்ப ஏற்பியின்மீது வைக்கப்பட்டு உந்துதண்டு கீழ்நோக்கி இயக்கப்படுகிறது. எனவே, வாயுவானது CD வழியே சமவெப்ப நிலை முறையில் அமுக்கப்படுகிறது. வாயுவின்மீது வேலை செய்யப்படுகிறது. வாயுவானது வெப்ப ஏற்பிக்கு Q_2 ஜூல்கள் வெப்பத்தை அளிக்கிறது. D-இல் அழுத்தம் P_4, பருமன் V_4 ஆகும். வாயுவின்மீது செய்யப்பட்ட வேலையின் அளவு (வலமிருந்து இடமாக நிழலிடப்பட்ட) CHFDC என்ற பரப்பளவுக்குச் சமமாகும்.

நிகழ்வு IV : இறுதியாக, உருளியானது வெப்பங்கடத்தா மேடைமீது வைக்கப்படுகிறது. வாயுவானது தொடக்க நிலையான A-ஐ அடையும்வரை DA வழியாக வெப்ப மாற்றீடற்ற முறையில் அமுக்கப்படுகிறது. வெப்ப நிலையானது T_2-லிருந்து T_1-க்கு அதிகமாகிறது. வாயுவின்மீது செய்யப்பட்ட வேலையின் அளவு (வலமிருந்து இடமாக நிழலிடப்பட்ட) DFEAD என்ற பரப்பளவுக்குச் சமமாகும்.

இந்த நான்கு நிகழ்ச்சிகளும் ஒரு சுற்றை அமைக்கின்றன. தொழிற்படு பொருள் (வாயு) ஒரு முற்றுப்பெற்ற நிகழ்ச்சிச் சுற்றினை மேற்கொள்கிறது. ஒரு சுற்றின்போது T_1 வெப்ப நிலையில் அமைந்த வெப்ப ஊற்றிலிருந்து Q_1 ஜூல் வெப்பம் ஏற்கப்பட்டு T_2 வெப்ப நிலையில் அமைந்த வெப்ப ஏற்பிக்கு Q_2 ஜூல் வெப்பம் அளிக்கப்படுகிறது. எனவே, ஏற்கப்பட்ட நிகர வெப்பம்

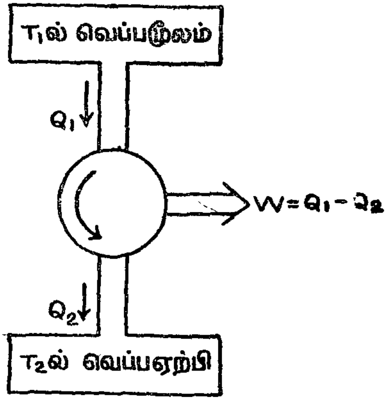
$(Q_1 - Q_2)$ ஜூல் ஆகும். இவ்வெப்பம் பயனுறு வேலையாக மாற்றப் பெறுகிறது. வாயுவால் செய்யப் பெற்ற வேலையின் அளவு (ஒருபுறமாக மட்டும் நிழலிடப்பட்ட) ABCD என்ற பரப்பள வால் குறிக்கப் பெறுகிறது.

2.4 3. இயக்குதிறம்

வெப்ப எஞ்சினின் இயக்கு திறமானது வேலையாக மாற்றப் பட்ட வெப்பத்தின் அளவுக்கும் வெப்ப ஊற்றிலிருந்து ஏற்கப்பட்ட வெப்பத்தின் அளவுக்கும் உள்ள விகிதமென வரையறுக்கப்படுகிறது:

$$\text{அதாவது, இயக்குதிறம் } (\eta) = \frac{\text{வேலையாக மாற்றப்பட்ட வெப்பம்}}{\text{ஊற்றிலிருந்து ஏற்கப்பட்ட வெப்பம்}}$$

கார்னோ எஞ்சினில் T_1 வெப்ப நிலையில் வெப்ப ஊற்றி லிருந்து Q_1 ஜூல்கள் வெப்பமானது தொழிற்படு பொருளால் ஏற்கப் படுகிறது : T_2 வெப்ப நிலையில் வெப்ப ஏற்பிக்கு Q_2 ஜூல்கள் வெப்பம் அளிக்கப்படுகிறது. எஞ்சிய $Q_1—Q_2$ ஜூல்கள் வெப்பம் W அளவு வேலையாக மாற்றப்படுகிறது. இதனைப் படம் 2-10 குறிக்கிறது.



படம் 2 - 10

வேலையாக மாற்றப்படும் வெப்பம்

$$\therefore \text{இயக்குதிறம் } \eta = \frac{W}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$$

$$\therefore \eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} \qquad (1)$$

மேலும் $Q_1 \propto T_1$, $Q_2 \propto T_2$ என நிறுவலாம். எனவே

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1} \qquad (2)$$

2. 4. 4. இயக்கவியல் இரண்டாம் விதி

வெப்ப இயக்கவியல் முதல் விதியானது வெப்பத்திற்கும், ஆற்றலுக்கும் உள்ள இணைப்பண்பைப் பற்றிக் கூறுகிறது. வெப்ப ஆற்றலிலிருந்து எந்திர ஆற்றலைப் பெறும்போதோ அல்லது எந்திர ஆற்றலிலிருந்து வெப்ப ஆற்றலைப் பெறும்போதோ அதற்கிணையான வெப்ப ஆற்றலோ அல்லது எந்திர ஆற்றலோ பயன்படுத்தப் படுகிறது என்று மட்டுமே அது கூறுகிறது.

வெப்ப இயக்கவியல் இரண்டாம் விதியானது சில அனுபவங்கள் மற்றும் காட்சிப்பதிவுகள் ஆகியவற்றின் தொகுப்பாகும். அது ஆற்றல் மாற்றத்தின் திசையைப் பற்றியதாகும். மேலும் இவ்விதியானது ஒரு சோதனையியல் விதியாகும். அதனை நேரடியாகக் கொள்கையியலாக நிறுவ முடியாது. ஆயினும், அது அனைவராலும் ஏற்றுக்கொள்ளப் பட்டுள்ளது. அது பல வகைகளில் கூறப்பட்டுள்ளது. அவற்றுள் பெரிதும் பயன்படும் இருவகை கூற்றுகளைப் பற்றி மட்டும் இங்கு காண்போம். அவற்றுள் ஒன்று கிளாஷஸ் கூற்று, மற்றொன்று கெல்வின் கூற்று ஆகும். க்ளாஷஸ் கூற்றானது வெப்ப ஏற்பியிலிருந்து வெப்ப ஊற்றிற்கு வெப்பம் மாற்றப்படுவதை அடிப்படையாகக் கொண்டது. கெல்வினோ வெப்ப ஊற்றிலிருந்து தொடர்ந்து வெப்பத்தை வெளியேற்றுவதால் அது குளிர்வுறுவதில் கருத்தைச் செலுத்தினார்.

A. க்ளாஷஸ் கூற்று

தானே இயங்கும் எந்தவொரு எந்திரமும் புற உதவியின்றி குறைந்த வெப்ப நிலையிலுள்ள ஒரு பொருளிலிருந்து அதிக வெப்ப நிலையிலுள்ள ஒரு பொருளுக்கு வெப்பத்தை மாற்ற இயலாது.

B. கெல்வின் கூற்று

ஒரு பொருளை அதன் சூழலைவிடக் குளிர்விப்பதன் மூலம் அதனின்றும் தொடர்ந்து வெப்பத்தைப் பெற இயலாது

இரண்டாம் விதியைப் பின்வருமாறு கூறலாம்; "உயர் வெப்ப நிலையிலுள்ள ஒரு பொருளும் குறைந்த வெப்ப நிலையிலுள்ள ஒரு பொருளும் இடைக்கப் பெற்றாலொழிய வேலையை வெப்பமாகவோ, வெப்பத்தை வேலையாகவோ தொடர்ந்து மாற்ற இயலாது."

2.5. வெப்பம் பரவுதல்—சலனம்

வெப்பமானது மூன்று வகைகளில் ஓரிடத்திலிருந்து மற்றோ ரிடத்திற்குப் பரவுகிறது. அவையாவன; வெப்பச்சலனம், வெப்பக் கடத்தல் மற்றும் வெப்பக் கதிர் வீசல்.

2. 5. 1. வெப்பச் சலனம்

சூடேற்றப்படும் பொருளின் துகள்களின் கட்புலனாகும் இயக் கத்தால் வெப்பம் பரவுமுறை வெப்பச்சலனம் எனப்பெறுகிறது.

திரவங்களிலும் வாயுக்களிலும் வெப்பச்சலனம் நிகழ்கிறது. இயற்கையில் அமைந்த வெப்பச்சலனத்திற்கான சில எடுத்துக் காட்டுகளையும் அறிவியல் மற்றும் தொழிற்துறையில் வெப்பச் சலனத்தின் சில பயன்களைப் பற்றியும் இங்கு காண்போம்.

2. 5 2. எடுத்துக் காட்டுகள்

தடக்காற்றுகள் *(Trade Winds)* : வடகிழக்கு மற்றும் தென்கிழக்குத் தடக்காற்றுகளைப் பற்றி நாம் கேள்வியுற்றிருக்கிறோம். இத் தடக் காற்றுகள் வளி மண்டலத்தின் வெவ்வேறு பகுதிகள் வெவ்வேறு அள வுக்குச் சூடேற்றப் பெறுவதால் நிகழும் வெப்பச் சலனத்தால் விளை கின்றன. வெப்ப மண்டலப் பகுதிகளில் புவியானது பெருமளவு சூடேற்றப் பெறுகிறது. இவ்வெப்பமானது புவிப்பரப்பை அடுத்துள்ள காற்றேடுகளுக்குப் பரவுவதால் அவை இலேசாகி மேலெழுகின்றன. இதனால் ஏற்படும் காலியிடத்தை நிரப்புவதற்காக வட கோளத்தில் துருவப் பகுதியினின்றும், தென் கோளத்தில் மிதவெப்பநிலை மண்டலத்தினின்றும் குளிர் காற்றோட்டம் ஒன்று நிகழ்கிறது. இதன் பயனாக வடதிசைக் காற்றுகளும் தென்திசைக் காற்றுகளும் விளை கின்றன. புவியின் சுழற்சியின் காரணமாக இவை வடகிழக்கு மற்றும் தென்கிழக்குத் திசைகளிலிருந்து வருவது போன்று தோற்ற மளிக்கின்றன. அவை வடகிழக்கு மற்றும் தென்கிழக்குக் காற்றுகள் எனப் பெறுகின்றன. இவ்வாறாக, வெப்பச் சலனத்தால் தடக் காற்றுகள் விளைவிக்கப்படுகின்றன.

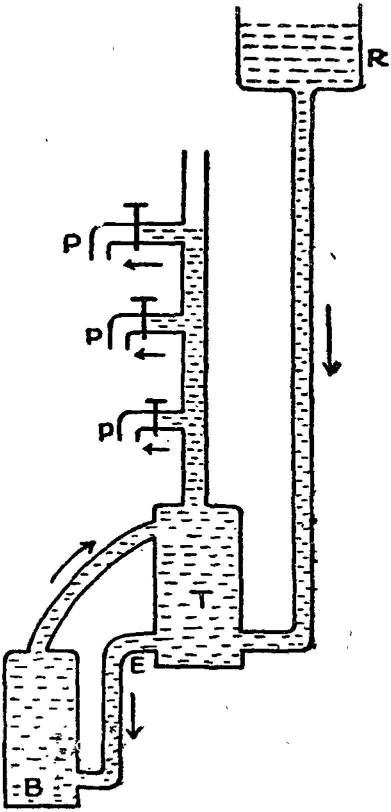
2. 5. 3. நிலக்காற்றும் கடற்காற்றும்

நிலமானது நீரைவிடக் குறைந்த தன் வெப்ப ஏற்புத்திறனைக் கொண்டுள்ளது. எனவே, பகற்பொழுதில் சூரிய வெப்பத்தால் நில மானது கடல்நீரைவிட விரைவில் சூடேற்றப் பெறுகிறது. இதன் பயனாய் நிலத்தோடு தொடர்பு கொண்ட காற்று சூடேற்றப்பெற்று மேலெழுகிறது. இதனால் ஏற்படும் காலியிடத்தை நிரப்ப கடலி லிருந்து நிலத்தை நோக்கிக் குளிர்ந்த காற்று வீசுகிறது. இதுவே

கடற்காற்று ஆகும். சூரியனின் மறைவுக்குப் பின், நிலமானது கடலைவிட விரைந்து குளிர்வடைகிறது. எனவே, நிலத்திற்கு மேலமைந்த காற்று குளிர்வடைந்து கடலை நோக்கி நகருகிறது. இவ்வாறு இரவுப் பொழுதில் கடலை நோக்கி வீசும் காற்று நிலக்காற்று என அழைக்கப் பெறுகிறது. இவ்வாறாக. கடலோரப் பகுதிகளில் காற்றில் நிகழும் வெப்பச் சலனத்தின் பயனாய் கடல்காற்றும் நிலக்காற்றும் விளைகின்றன.

2. 5. 4. வெப்பச் சலனத்தின் பயன்கள்

வீட்டு வெந்நீர்த் தரவு (Domestic Hot Water Supply) தங்கும் விடுதிகளிலும் பெருங் கட்டிடங்களிலும் பல்வேறு அறைகளில் வெந்நீர்த் தரவு அமைப்பு உள்ளதைக் காணலாம். நீரின் வெப்பச் சலனமே அத்தகைய அமைப்பின் அடிப்படை நிகழ்ச்சியாகும். நீரானது சமையல் அடுப்பிற்குப் பின்புறமாக அமைக்கப்பட்ட B என்ற கொதிகலத்தில் சூடேற்றப்படுகிறது. (படம் 2-11). இவ்வாறு சூடேற்றப்பெற்ற வெந்நீர் கொதிகலத்தின் மேல்பகுதியிலமைந்த வெளியேறு குழாய் வழியாக T என்ற வெந்நீர்த் தொட்டியை அடைகிறது; அங்கிருந்து வெவ்வேறு அறைகளிலுள்ள வடிமுனைக் குழாய்களுக்கு (taps)ச் செல்லுகிறது. அடர்த்தி மிகுந்த குளிர்ந்த நீரானது R என்ற மேல்நிலைத் தொட்டியிலிருந்து T வழியே E என்ற உள்வரு குழாயின் மூலமாகக் கொதிகலனை வந்தடைகிறது. இத்தகைய அமைப்பானது பல்வேறு அறைகளுக்கும் தொடர்ந்து வெந்நீரை அளிக்கிறது.



படம். 2 - 11
வீட்டு வெந்நீர்த் தரவு.

2. 5. 5. மையச் சூடேற்று (Central Heating System)

குளிர் காலங்களில் வெந்நீர்க் குழாய்களைப் பயன்படுத்தி அறைகளை வெதுவெதுப்பாக வைக்க முடியும். இம்முறையும் வெந்நீர்த் தரவு செயற்படும் அதே தத்துவத்தையே அடிப்படையாகக் கொண்டுள்ளது. வெவ்வேறு அறைகளிலுள்ள வடிமுனைக் குழாய்களுக்குப் பதிலாக வெப்ப உமிழிகள் (radiators) இணைக்கப்படுகின்றன. இவை நெளிவரிவடிவில் வளைத்து வளைத்து அமைக்கப்பட்ட குழாய்களாகும், இக்குழாய்களின் வழியாகக் கொதிகலத்திலிருந்து வெந்நீர் செலுத்தப்படும். வெப்ப உமிழிகளின் வழியாகச் செல்லும் வெந்நீர் அங்கு சுற்றுப்புறத்திற்கு வெப்பத்தை இழந்து, திரும்பு குழாய் வழியாகக் கொதிகலத்திற்குத் திரும்புகிறது. ஒவ்வொரு உமிழியுடைய அகவாய், வெந்நீர்க் குழாயுடனும், புறவாய், திரும்பு குழாயுடனும் இணைக்கப்பட்டிருக்கும். குளிர்ந்த நீரானது கட்டிடத்தின் மேல் அமைக்கப்பட்ட ஊட்டத் தொட்டி (feed tank) ஒன்றிலிருந்து கொதிகலத்தின் அடிப்பகுதியில் நுழைகிறது. ஊட்டத் தொட்டியானது பொதுவாகத் தானியங்கி வால்வு ஒன்றையும் நிறைந்து வழியும் புறவாயையும் கொண்டிருக்கும். எனவே, தொட்டியில் நீர்மட்டம் மாறாமல் அமையும். வெப்ப உமிழியை அடுத்துள்ள காற்று சூடேற்றப்படுவதால் விளையும் வெப்பச் சலனத்தால் அறை முழுதும் சூடேற்றப்படும். மையச் சூடேற்று முறையில் பெருங் கட்டிடங்களைச் சூடேற்றுவதற்கு வெந்நீருக்குப் பதிலாக நீராவியையோ, சூடேற்றப்பெற்ற காற்றையோகூடப் பயன்படுத்தலாம்.

2. 5. 6. தானியங்கிகளின் வெப்ப உமிழிகள்

பேருந்து போன்ற தானியங்கிகளில் உள்ள வெப்ப உமிழிகளும் வெப்பச் சலனத்தையே அடிப்படையாகக் கொண்டுள்ளன. எஞ்சினின் உருளியினால் சூடேற்றப்பெற்ற நீரானது சரிவாக அமைக்கப்பட்ட குழாய்களின் வழியாக வெப்ப உமிழியின்மேல் பகுதிக்குச் செல்கிறது. அங்கு அது குளிர்விக்கப்பட்டு அதன் கீழ்ப்பகுதியில் அமைந்த குழாய் வழியாக உருளியின் மேலுறையினுள் அதன் அடிப் பகுதியில் மீண்டும் நுழைகிறது.

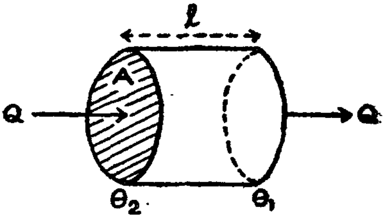
2. 6. வெப்பம் பரவுதல் - கடத்தல்

சூடேற்றப்படும் பொருளின் துகள்களின் கட்புலனாகும் இயக்கமின்றியே வெப்பம் பரவுமுறை வெப்பக்கடத்தல் எனப்படுகிறது.

வெப்பக் கடத்தலானது திண்பொருட்கள், திரவங்கள் மற்றும் வாயுக்களில் நிகழ்கிறது.

2. 6. 1. வெப்பங்கடத்து திறன்

ஒரு பொருளின் வழியே வெப்பம் கடத்தப்பட வேண்டுமாயின் அதன் இரு முனைகளும் வெவ்வேறு வெப்பநிலைகளில் அமைய வேண்டும். முனைகள் θ_2, θ_1 என்ற வெப்பநிலைகளில் அமைந்த ஒரு பொருளைக் கருதுவோம் (படம் 2-12). முனை ஒவ்வொன்றின் குறுக்குப் பரப்பளவு A என இருக்கட்டும். அப்பொருளின் வழியே கடத்தப்படும் வெப்பத்தின் அளவு Q,



படம் 2 - 12
வெப்பங்கடத்தல்

(i) முனைகளின் வெப்பநிலை வேறுபாட்டிற்கு $(\theta_2 - \theta_1)$ நேர் விகிதத்திலுள்ளது.

(ii) முனையின் குறுக்குப் பரப்பளவிற்கு (A) நேர்விகிதத்திலுள்ளது;

(iii) வெப்பம் கடத்தப்படும் கால அளவிற்கு (t) நேர்விகிதத்திலுள்ளது.

(iv) முனைகளுக்கு இடையேயுள்ள தொலைவுக்கு (l) எதிர் விகிதத்திலுள்ளது.

அதாவது $$Q \propto \frac{(\theta_2-\theta_1)At}{l}$$

$$\therefore \quad Q = \lambda\frac{(\theta_2-\theta_1)At}{l} \qquad (1)$$

ஆகும்: λ என்பது ஒரு மாறிலியாகும்; அது பொருளின் வெப்பங் கடத்து திறன் எனப்படும்.

$\frac{(\theta_2-\theta_1)}{l}$ என்பது தொலைவைப் பொறுத்து வெப்பநிலை குறையும் வீதமாகும்: அது வெப்பநிலை வாட்டம் எனப்படுகிறது. A = 1, t = 1 வெப்பநிலை வாட்டம் = 1 ஆயின் λ = Q ஆகும். எனவே, வெப்பங் கடத்து திறனைப் பின் வருமாறு வரையறுக்கலாம்.

ஒரு பொருளின் வெப்பங்கடத்து திறன் என்பது அதன் ஒரு முனை வழிச் செல்லும் வெப்பம் யாவும் மறுமுனை வழியாக வெளி

யேறும் நிலையில், அவற்றிற்கிடையே ஓரலகு வெப்பநிலை வாட்டத்தில் ஓரலகுக் குறுக்குப் பரப்பின் வழியே ஒரு செகண்டில் பரவும், ஜூல்கள் அலகிலான, வெப்பமாகும்.

வெப்பங்கடத்து திறனுக்கான அலகு கெல்வினுக்கு, மீட்டருக்கு, செகண்டுக்கு........ ஜூல்கள் (ஜூல்கள்/செகண்டு/மீட்டர்/கெல்வின்) ($J s^{-1} m^{-1} K^{-1}$) அல்லது கெல்வினுக்கு, மீட்டருக்கு........ வாட்டுகள் (வாட்டுகள்/மீட்டர்/கெல்வின்) ($W m^{-1} K^{-1}$) ஆகும்

சில பொருட்கள் பெருமளவு வெப்பத்தைக் கடத்துகின்றன. எனவே, அவை மிகுந்த வெப்பங்கடத்து திறனைக் கொண்டுள்ளன. அவை **நற் கடத்திகள்** *என அழைக்கப் படுகின்றன. சில பொருட்கள் சிறிதளவு வெப்பத்தைக் கடத்துகின்றன. அவை குறைந்த வெப்பங்கடத்து திறனைக் கொண்டுள்ளன. அவை* **அரிதிற் கடத்திகள்** *என அழைக்கப்பெறுகின்றன.*

உலோகங்கள் நற்கடத்திகளாகும். கண்ணாடி, ரப்பர், மரம், எபொனைட் போன்ற இன்னோரன்ன பிற பொருட்கள் அரிதிற் கடத்திகளாகும். திரவங்களும் வாயுக்களும் மிகவும் அரிதிற் கடத்திகளாகும்.

2. 6. 2. பொருட்களின் வெப்பங்கடத்து திறனைக் காண்பதற்கான சோதனை

நற்கடத்தி ஒன்றின் வெப்பங்கடத்து திறனைக் காண்பதற்கான ஒரு சோதனையைப் பற்றியும், அரிதிற் கடத்தி ஒன்றின் வெப்பங் கடத்து திறனைக் காண்பதற்கான ஒரு சோதனையைப்பற்றியும் இங்கு காண்போம்.

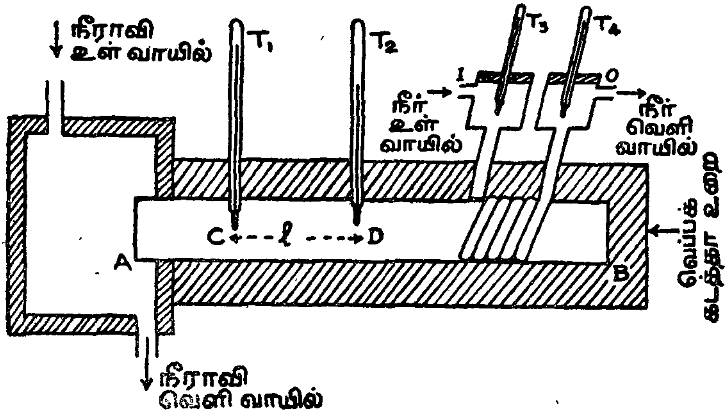
நற்கடத்தியின் வெப்பங்கடத்து திறன்—சியர்ள் முறை

செம்பு போன்ற நற்கடத்தி ஒன்றின் வெப்பங்கடத்து திறனை சியர்ள் முறையில் காணலாம்.

கருவியின் அமைப்பு

இதில் சுமார் 30 செமீ நீளமும் 4 முதல் 5 செமீ விட்டமும் கொண்ட AB என்ற செப்புத் தண்டு ஒன்று உள்ளது. அதன் A முனை செப்புப்பெட்டி ஒன்றினுள் பொருத்தப்பட்டுள்ளது. பெட்டியின் வழியே நீராவி செலுத்தப்படுகிறது. எனவே, இம்முனை நீராவியின் வெப்ப நிலைக்குச் (100°C = 373 K) சூடேற்றப்படுகிறது. B முனைமீது செப்புக்குழாய்ச் சுருள் ஒன்று நெருக்கமாகச் சுற்றப் பட்டுள்ளது. குழாய்ச்சுருள் வழியே குளிர்ந்த நீர் செலுத்தப் படுகிறது. நீரானது I என்ற அகவாய் வழியாக நுழைந்து, O என்ற

புறவாய் வழியாக வெளியேறுகிறது. அகவாயில் அமைக்கப்பட்ட T_3 என்ற வெப்ப நிலைமானி குழாயினுள் நுழையும் நீரின் வெப்ப நிலையை அளவிடுகிறது. புறவாயில் அமைக்கப்பட்ட வெப்பநிலை மானி T_4 குழாயைவிட்டு வெளியேறும் நீரின் வெப்பநிலையை அளவிடுகிறது. செப்புத் தண்டில் C, D என்ற துளைகளில் T_1, T_2 என்ற மற்றுமிரு வெப்பநிலைமானிகள் அமைக்கப்படுகின்றன. செப்புத் தண்டும் குழாய்ச்சுருளும் கம்பளியால் நிரப்பப்பட்ட மரப் பெட்டியினுள் அமைக்கப்படுகின்றன.



படம் 2 - 13

கற்கடத்திக்கான சியர்ஸ் முறைகள்

செய் முறை : நீராவிப் பெட்டியின் வழியே நீராவி செலுத்தப் படுகிறது. செப்புக் குழாய் வழியே குளிர்ந்த நீர் செலுத்தப்படுகிறது. சிறிது நேரம் சென்ற பின்னர் வெப்ப நிலைமானிகள் நிலையான அளவீடுகளைக் காட்டும். T_1, T_2 ஆகிய வெப்ப நிலைமானிகளின் அளவீடுகள் முறையே θ_1, θ_2 என இருக்கட்டும். குழாயினுள் நுழையும் நீரின் வெப்பநிலை θ_3, வெப்பநிலைமானி T_3 யிலிருந்து அளவிடப்படுகிறது. குழாயை விட்டு வெளியேறும் நீரின் வெப்ப நிலை, θ_4, வெப்பநிலைமானி T_4-லிருந்து அறியப்படுகிறது. புறவாய் வழி வெளியேறும் நீரானது t செகண்டு காலஅளவிற்கு நிறை யிடப்பட்ட முகவை ஒன்றில் சேமிக்கப்படுகிறது. இந்நீரின் நிறை m கி. கி. ஆக இருக்கட்டும். துளைகளுக்கிடையேயான தொலைவு (l) அளவிடப்படுகிறது. வெர்னியர் காலிப்பரின் உதவியுடன் தண்டின் நான்கைந்து இடங்களில் விட்டம் அளவிடப்பட்டு ஆரம் (r) கணக்கிடப்படுகிறது.

காட்சிப்பதிவும் கணக்கிடுக :

C, D துளைகளுக்கிடையேயுள்ள தொலைவு = l மீட்டர்

தண்டின் ஆரம் = r மீட்டர்

∴ தண்டின் குறுக்குப் பரப்பளவு A = πr^2

செகண்டுகளில் சேமிக்கப்பட்ட நீரின் நிறை = m kg

தண்டின் வெப்பங்கடத்து திறன் λ என இருக்கட்டும்.

தண்டின் வழியே கடத்தப்பட்ட வெப்பத்தின் அளவு

$$Q = \frac{\lambda (\theta_1 - \theta_2) At}{l} \text{ ஜூல்கள்}$$

இவ்வெப்பம் செப்புக்குழாய் வழியே செல்லும் நீரினால் ஏற்கப்படுகிறது.

நீர் ஏற்ற வெப்பம் = t செகண்டுகளில் சேமிக்கப்பட்ட நீரின் நிறை

× நீரின் தன் வெப்ப ஏற்புத்திறன்

× வெப்பநிலை உயர்வு.

= $ms (\theta_4 - \theta_3)$ ஜூல்கள்

தண்டினால் கடத்தப்பட்ட வெப்பம் = நீர் ஏற்ற வெப்பம்

$$\therefore \frac{\lambda A (\theta_1 - \theta_2) t}{l} = ms (\theta_4 - \theta_3)$$

$$\lambda = \frac{ms (\theta_4 - \theta_3) l}{A (\theta_1 - \theta_2) t}$$

$$\lambda = \frac{ms (\theta_4 - \theta_3) l}{\pi r^2 (\theta_2 - \theta_2) t} \; W m^{-1} K^{-1}$$

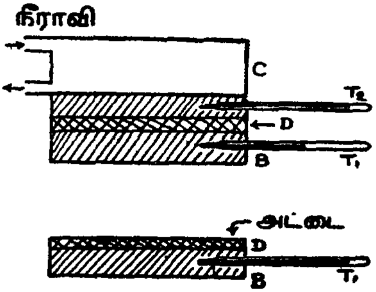
இதனின்றும் நற்கடத்தியாலான தண்டுப் பொருளின் வெப்பங்கடத்து திறன் λ கணக்கிடப்படுகிறது.

2. 6. 3. அரிதிற்கடத்தி ஒன்றின் வெப்பங்கடத்து திறன்—லீ வட்டு முறை

கண்ணாடி, எபொனைட், அட்டை போன்ற அரிதிற்கடத்திகளின் வெப்பங்கடத்து திறனை லீ முறையினால் காணலாம்.

கருவியின் அமைப்பு

இதில் பித்தளையினாலான உருளை வடிவ நீராவி அறை (C) ஒன்று உள்ளது. அதன் அடிப்பகுதியானது தடிப்பு மிக்கதாய் அமைந்து T_2 என்ற வெப்ப நிலைமானியை ஏற்பதற்கென துளை ஒன்றையும் கொண்டுள்ளது. C-ன் விட்டத்தைக் கொண்ட, பித்தளையினாலான தடிப்பு மிக்க B என்ற வட்டு ஒன்று உள்ளது. அரிதிற்கடத்தியான அட்டை (D), B அல்லது C-ன் விட்டத்தைக் கொண்ட மெல்லிய தட்டு வடிவில் உள்ளது. இத்தட்டு B என்ற வட்டின் மீது வைக்கப்பட்டு அதன்மீது நீராவி அறை (C) அமைக்கப்படுகிறது. இம் முழு அமைப்பும் தாங்கி ஒன்றிலிருந்து தொங்கவிடப்படுகிறது. T_1 என்ற மற்றுமொரு வெப்பநிலைமானி B என்ற வட்டில் உள்ள துளையினுள் அமைக்கப்படுகிறது.



படம் 2 - 14
அரிதிற் கடத்திக்கு லீ வட்டு முறை

செய்முறை :

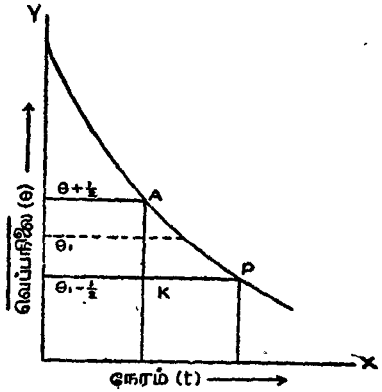
முதலில் அரிதிற்கடத்தியின் தடிப்பு (l) ஆரமும் (r) அளவிடப்படுகின்றன. நீராவி அறை வழியே நீராவி செலுத்தப்படுகிறது. இந்த அமைப்பு சிறிது நேரம் சென்ற பின்னர் மாறா நிலையை அடையும். அதாவது, வெப்ப நிலைமானிகள் நிலையான அளவீடுகளைக் குறிக்கும். இந்நிலையில் T_1, T_2 ஆகிய வெப்ப நிலைமானிகளின் அளவீடுகள் காணப்படுகின்றன. அவை முறையே θ_1, θ_2 என இருக்கட்டும். அட்டையின் வெப்பங்கடத்து திறன் λ என இருக்கட்டும். அட்டையின் இருபுறமும் வெப்பநிலைகள் θ_1, θ_2 எனக் கொள்வோமாயின், ஒரு செகண்டில் அட்டையின் வழியே கடத்தப்படும் வெப்பம்

$$Q = \frac{\lambda(\pi r^2)(\theta_2 - \theta_1)}{l} \text{ ஜூல்கள்}$$

ஆகும்.

அடுத்து அட்டையை நீக்கி, நீராவி அறை B என்ற வட்டின மீது நேரடியாக வைக்கப்படுகிறது. B-ன் வெப்பநிலை θ_1ஐவிட 10°

அதிகமாகும் வரை அது சூடேற்றப்படுகிறது. பின்னர் நீராவி அறையை நீக்கி விட்டு B-ன் மீது படம் 2-14ன் கீழ்ப் பகுதியில உள்ளது போன்று அட்டை வைக்கப்படுகிறது. B-ன் வெப்பநிலை யானது θ_1-ஐ விட 10° குறைபும் வரை ஒவ்வொரு 30 செகண்டும் வெப்பநிலைகள் குறிக்கப்படுகின்றன. X-அச்சில் நேரத்தையும் Y-அச்சில் வெப்பநிலையையும் குறித்து குளிர்தல் வரைகோடு ஒன்று வரையப்படுகிறது (படம் 2-15).



படம் 2-15

குளிர்வு விதம் காணல்

θ_1-க்கு ½° மேல் உள்ள புள்ளி வழியே ஒரு கிடைக்கோடு வரையப்படுகிறது. இது வரைகோட்டை A என்ற புள்ளியில் சந்திக்கிறது. θ_1-க்கு ½° கீழ் உள்ள புள்ளி வழியே மற்றொரு கிடைக்கோடு வரையப்படுகிறது. இது வரைகோட்டை P என்ற புள்ளியில் சந்திக்கிறது. A லிருந்து, P வழியே செல்லும் கிடைக் கோட்டிற்கு AK என்ற நேர்குத்துக் கோடு வரையப்படுகிறது.

$\frac{d\theta}{dt} = \frac{AK}{KP}$ என்னும் தொடர்பிலிருந்து θ_1 வெப்ப நிலையில் குளிர்தல் விதம் கணக்கிடப்படுகிறது.

B என்ற வட்டின் நிறை காணப்படுகிறது.

காட்சிப் பதிவும் கணக்கீடும்

அட்டையின் தடிப்பு = l மீட்டர்

அட்டையின் ஆரம் = r மீட்டர்

B வட்டின் நிறை $= m\ kg$

B வட்டின் மாறா வெப்பநிலை $= \theta_1\ K$

நீராவி அறையின் வெப்பநிலை $= \theta_2\ K$

θ_1-ல் குளிர்தல் வீதம் $= \frac{AK}{KP} = R$

பித்தளையின் தன் வெப்ப ஏற்புத் திறன் $= S\ J\ Kg^{-1}\ K^{-1}$
அட்டையின் வழியே ஒரு செகண்டில் கடத்தப்பட்ட வெப்பம்

$$Q = \frac{\lambda\,(\pi\, r^2)(\theta_2 - \theta_1)}{l}\ J$$

B என்ற வட்டு ஒரு செகண்டில் இழக்கும் வெப்பம்

$$Q = m\,s\,R\quad J$$

மாறா நிலையில், ஒரு செகண்டில் அட்டையின் வழி கடத்தப் படும் வெப்பமானது ஒரு செகண்டில் B வட்டு இழக்கும் வெப்பத் திற்குச் சமமாகும்.

வெப்பக் கதிர் வீசல் அதே சூழல்களில் நிகழ்வதால்,

$$\frac{\lambda\,\pi\, r^2\,(\theta_2 - \theta_1)}{l} = m\,s\,R$$

$$\therefore \qquad \lambda = \frac{msRl}{\pi r^2(\theta_2 - \theta_1)}\ W\,m^{-1}\,K^{-1}$$

அவ்வாறு அட்டையின் (அரிதிற்கடத்தியின்) வெப்பங்கடத்து திறனைக் காணலாம்.

சில பொருட்களின் வெப்பங்கடத்து திறன்களைப் பின்வரும் அட்டவணையில் காணலாம்.

பொருள்	வெப்பங்கடத்து திறன் $W m^{-1} K^{-1}$
செம்பு	385·00
பித்தளை	110·00
வெள்ளீயம்	65·00
கண்ணாடி	1·00
செங்கல்	0·60
பிளாஸ்டிக் கண்ணாடி (Perspex)	0·20
மரம்	0·15
தக்கை	0·05

2. 7. வெப்பக்கதிர்வீசல்

பருப்பொருள் ஊடகம் ஒன்றின் துணையின்றி வெப்பம் பரவும் முறை வெப்பக் கதிர்வீசல் எனப்படுகிறது.

வெப்பக்கதிர்வீசலில் வெப்ப ஆற்றலானது சூடேற்றப்பட்ட பொருள் ஒன்றிலிருந்து மின்காந்த அலைகள் வடிவில் பரவுகிறது.

சூரியனிலிருந்து புவிக்கு வெப்பக் கதிர் வீசல் முறையிலேயே வெப்பம் பரவுகிறது.

2.7.1. வெப்பக்கதிர்வீச்சின் பண்புகள்

வெப்பக்கதிர்கள் வெற்றிடத்தின் வழியாகவும் ஒளியூடுருவு பொருட்களின் வழியாகவும் இயங்குகின்றன.

அவை ஒளியின் வேகத்துடன் நேர்கோட்டில் இயங்குகின்றன.

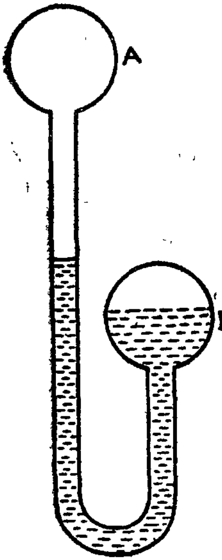
அவை ஒளியைப் போன்று அதே விதிகளுக்குட்பட்டு பிரதிபலிக்கப்படவும், விலக்கப்படவும் செய்கின்றன.

2.7.2. வெப்பக் கதிர்வீச்சைக் கண்டுணர்தல்

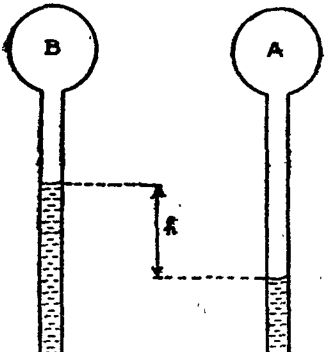
வெப்பக்கதிர்வீச்சினைக் கண்டுணர்வதற்கான சில எளிய கருவிகளைப் பற்றி இங்கு காண்போம்.

(a) ஈதர் வெப்பங்காட்டி

ஈதர் வெப்பங்காட்டி என்பது இருமுனைகளிலும் கண்ணாடிக் குமிழ்களைக் கொண்டதொரு J வடிவக் குழாயாகும். (படம் 2-16). குழாயின் ஒரு பகுதியும் கீழ்க்குமிழும் (B) நிறமிடப்பட்ட ஈதரால் நிரப்பப்பட்டுள்ளன. கருவியினுள் காற்று கிடையாது. ஈதர் மட்டத்திற்கு மேலுள்ள பகுதி ஈதர் ஆவியினால் நிரப்பப்பட்டுள்ளது. கருமையிடப்பட்ட கீழ்க்குமிழின் (B) மீது வெப்பக்கதிர்கள் படும்போது அவை உட்கவரப்படுகின்றன. இக்குமிழில் உள்ள ஈதரும் ஈதரின் ஆவியும் விரிவடைகின்றன. இதன் பயனாய் B-இல் அழுத்தம் மிகுந்த நீண்ட புயத்தில் உள்ள ஈதர் மட்டம் மேலேறுகிறது. இந்த மட்டம் மேலேறும் உயரமானது B குமிழினால் ஏற்கப்பட்ட வெப்பக்கதிர்வீச்சின் அளவைக் குறிக்கும்.



படம் 2 - 16
ஈதர் வெப்பங்காட்டி



படம் 2 - 17
வேறுபாட்டு காற்று வெப்ப நிலைமானி

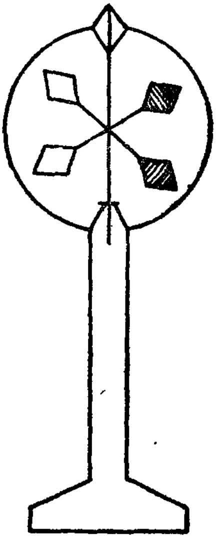
(b) வேறுபாட்டு காற்று வெப்ப நிலைமானி

இதில் A, B என்ற இரு ஒத்த குமிழ்கள் ஒரு U வடிவக் குழாயினால் இணைக்கப்பட்டு அமைகின்றன (படம் 2-17). குமிழ்களுள் உலர்ந்த காற்று உள்ளது. U குழாயில் ஏதேனுமொரு

வண்ணத்திரவம் (கந்தக அமிலம்) உள்ளது. குமிழ்கள் இரண்டும் அதே வெப்ப நிலையில் உள்ளபோது U குழாயின் இரு புயங்களிலும் திரவ மட்டம் ஒரே அளவாய் உள்ளது. B-ஐ மறைத்து, A மீது வெப்பக்கதிர்கள் விழுமாறு செய்யப்படுமாயின், A-இல் காற்று அழுத்தம் அதிகமாகும். எனவே, A-யுடன் தொடர்பு கொண்ட புயத்தில் திரவமட்டம் கீழிறங்குகிறது. இரு புயங்களிலும் திரவமட்டங்களுக்கிடையேயான உயர வேறுபாடு 'h', A குமிழினால் ஏற்கப்பட்ட வெப்பக் கதிர்வீச்சின் அளவைக் குறிக்கும்.

(c) க்ருக்ஸ் வெப்பக் கதிர்மானி

நான்கு இலேசான மைக்கா அலகுகள் குறுக்குக்கம்பி ஒன்றின் நான்கு புயங்களில் பொருத்தப்பட்டுள்ளன. குறுக்குக் கம்பியானது செங்குத்து அச்சு ஒன்றைப் பற்றிச் சுழலுமாறு கண்ணாடிக் குமிழ் ஒன்றினுள் அமைக்கப்பட்டுள்ளது. அலகுகளின் ஒரு பரப்பு கருமையூட்டப்பட்டு, அவ்வாறு கருமையூட்டப்பட்ட பரப்புகள் யாவும் ஒரே முகமாக நோக்குமாறு அமைந்துள்ளன. (படம் 2-18). கண்ணாடிக் குமிழினுள் அழுத்தம் மிகக் குறைவாக அமைக்கப்பட்டுள்ளது.

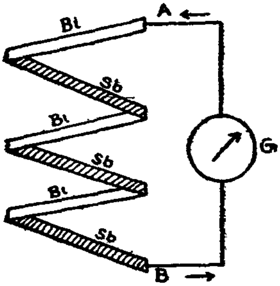


படம் 2 - 18
க்ருக்ஸ்
வெப்பக் கதிர்மானி

வெப்பக்கதிர்கள் குமிழின்மீது விழும் போது அலகுகளின் கருமைப்படுத்தப்பட்ட பரப்புகள் மெருகேற்றப்பட்ட பிற பரப்புகளைவிட அதிக அளவில் வெப்பத்தை உட்கவருகின்றன. மைக்கா ஓர் அரிதிற் கடத்தியாதலால் மெருகேற்றப்பட்ட பரப்புகளைவிட கருமையூட்டப்பட்ட பரப்புகள் எப்போதும் அதிக வெப்ப நிலையில் இருக்கும். கருமையூட்டப்பட்ட பரப்புகளின்மீது மோதும் காற்று மூலக்கூறுகள் அதிகரிக்கப்பட்ட உந்தத்துடன் மீண்டெழுகின்றன. இதன் காரணமாக அலகுகளின் மீது நிகரவிசை ஒன்று செயற்பட்டு அலகுகள் சுழலுகின்றன. கதிர்வீச்சின் செறிவு அதிகமாகும்போது அலகுகளின் சுழற்சி வேகம் அதிகமாகிறது. எனவே அலகுகளின் சுழற்சிவேகம் கதிர்வீச்சின் அளவைக் குறிக்கிறது.

(d) வெப்ப மின்னிரட்டை அடுக்கு

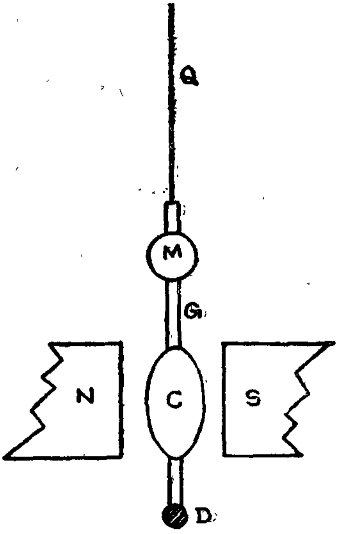
ஆண்டிமனி (Sb), பிஸ்மத் (Bi) போன்ற தக்க உலோகங்களாலான தண்டுகளை இணைத்து வெப்ப மின்னிரட்டைகள் அமைக்கப் படுகின்றன. வெப்ப மின்னிரட்டை அடுக்கு ஒன்றில் பல வெப்ப மின்னி ரட்டைகள் தொடரிணைப்பு முறையில் இணைக்கப்பட்டுள்ளன. அவற்றின் ஒரு பகுதி சந்திகள் கருமையூட்டப்பட்ட வெப்பக்கதிர்களுக்குக் காட்சிப்படுத்தப் படுகின்றன (படம் 2-19). பிற சந்தி கள் அடங்கிய பகுதி மூடி ஒன்றினால் மூடப்பட்டுள்ளன. A, B என்ற இணைப்பு முனைகள். உணர்வு நுட்ப முடைய கால்வனாமீட்டர் ஒன்றுடன் இணைக்கப்படுகின்றன. வெப்பக்கதிர் கள் கருமையூட்டப் பெற்ற சந்திகளின் மீது படும்போது அவை வெப்பமுறு கின்றன. இதன் காரணமாய் இரு பகுதி சந்திகளும் வெவ்வேறு வெப்ப நிலைகளில் அமைந்து வெப்ப மின் இயக்குவிசை ஒன்று உருவாகிறது. இதனால் விளையும் மின்னோட்டம் கால்வனாமீட்டரில் விலகலை ஏற்படுத்துகிறது. இவ் விலகலின் அளவு கதிர்வீச்சின் அளவைக் குறிக்கிறது.



படம் 2 - 19
வெப்ப மின்னிரட்டை அடுக்கு

2. 7. 3. வெப்பக் கதிர்வீச்சை அளவிடல்

மேற்கூறப்பட்ட கருவிகள் யாவும் மிகுந்த உணர்வு நுட்ப முடையவையல்லவாதலால் வெப் பக் கதிர்வீச்சுக்களின் நுட்பமான அளவீட்டிற்கு அவற்றைப் பயன் படுத்த முடியாது. வெப்பக் கதிர் வீச்சை அளவிடுவதற்கான மிகுந்த உணர்வு நுட்பமுடைய ஒரு கருவி பாய்ஸ் ரேடியோ மைக்ரோ மீட்டர் ஆகும்.

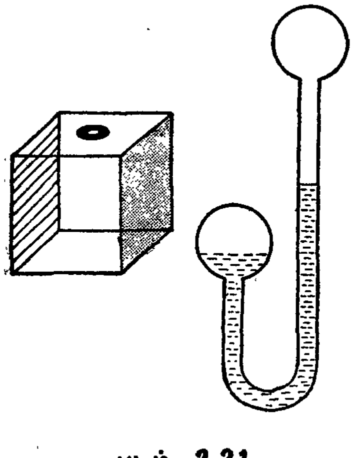


படம் 2 - 20
பாய்ஸ் ரேடியோ மைக்ரோ மீட்டர்

பாய்ஸ் ரேடியோ மைக்ரோமீட்டர்

இதில் ஆண்டிமனி—பிஸ்மத் வெப்ப மின்னிரட்டை ஒன்றின் ஒரு சந்தி, கருமையிடப் பெற்ற D என்ற செப்புத்தகட்டுடன் இணைக்கப் பட்டுள்ளது. வெப்ப மின்னிரட்டையானது C என்ற செப்புக் கம்பிக்கண்ணி ஒன்றால் முற்றுப் பெறுகிறது [படம் 2-20). இக் கண்ணியானது வலிமைமிக்க காந்தம் ஒன்றின் துருவங்களுக்கிடையே (N S) தொங்கவிடப்பட்டுள்ளது. மேலும், இக் கண்ணியானது சிறு ஆடி (M) ஒன்றுடன் கூடிய மெல்லிய கண்ணாடித் தண்டு (G) ஒன்றுடன் இணைக்கப்பட்டுள்ளது. கண்ணாடித் தண்டு, குவார்ட்ஸ் இழை ஒன்றின் உதவியால் தொங்கவிடப்பட்டுள்ளது.

அளவிடப்பட வேண்டிய வெப்பக் கதிர்வீச்சானது செப்புத் தகட்டின் (D) மீது விழுமாறு செய்யப்படுகிறது. இதன் பயனாய் அதன் வெப்பநிலை உயர்ந்து, வெப்பமின்னோட்டம் ஒன்று உருவாகி, செப்புக் கண்ணியின் வழியே பாய்கிறது. எனவே, கண்ணி விலக லடைகிறது. இதனால் குவார்ட்ஸ் இழையில் உருவாகும் முறுக் கானது கண்ணியை விலகிய நிலையில் நிலைபெறச் செய்கிறது. ஆடி (M) க்கு முன் வைக்கப்பட்ட அளவுகோல் ஒன்றில், ஆடியி லிருந்து பிரதி பலிக்கப்பட்ட ஒளிப்புள்ளி ஒன்றின் இடப்பெயர்ச் சியை அளவிடுவதன் மூலம் கண்ணியின் விலகல் அளவிடப் படுகிறது. ஒளிப்புள்ளியின் இடப் பெயர்ச்சியானது செப் புத் தகட்டின் மீது விழும் வெப்பக்கதிர் வீச்சின் அளவை நுட்பமாகக் குறிக்கிறது.



படம் 2-21
லெஸ்லி கன சதுரம்

2. 7. 4. லெஸ்லி கனசதுரம்

கதிர்வீச்சின் அளவானது அக்கதிர்வீச்சினை உமிழும் பரப்பின் தன்மையைப் பொருத் துள்ளது. இதனை லெஸ்லி கன சதுரத்தின் உதவியால் விளக்கலாம்.

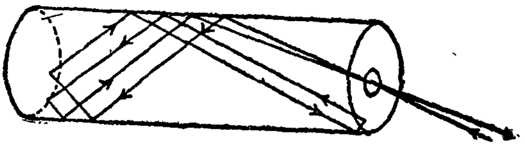
லெஸ்லி கன சதுரம் என்பது உள்ளீடற்ற பெரிய தொரு உலோகக் கனசதுரமாகும் (படம் 2-21). அதன் முகங்களுள் ஒன்று நன்றாக மெருகேற்றப்பட்டும், இரண்டாவது வெண்மை

பூசப்பட்டும், மூன்றாவது வார்னீசு பூசப்பட்டும், நான்காவது புகைக் கரி (Lamp black) யிடப்பட்டும் அமைகின்றன. உச்சியிலுள்ள ஒரு சிறு துளை வழியே அதனுள் கொதிநீர் ஊற்றப்படுகிறது. ஈதர் வெப்பங்காட்டி ஒன்று அதன் ஒவ்வொரு முகத்தினின்றும் 10 செ மீ தொலைவில் அடுத்தடுத்து வைக்கப்பட்டு, ஒவ்வொரு முகத்திற்கும் ஈதர் தம்ப உயர்வு அளவிடப்படுகிறது. ஈதர் தம்ப உயர்வானது ஈதர் வெப்பங்காட்டி கன சதுரத்தின் எம்முகத்திற்கு எதிரில் உள்ளதோ அம் முகத்தினின்றும் வரும் கதிர்வீச்சின் அளவைக்குறிக்கும். சோதனையிலிருந்து, மங்கலான பரப்பின் கதிர்வீச்சு திறனானது மெருகேற்றப்பட்ட பரப்பினைவிட அதிகமாக இருப்பதையும் கரி யிடப்பட்ட பரப்பின் கதிர்வீசுதிறன் பெருமமாயிருப்பதையும் காணலாம்.

2.7.5. கரும்பொருள் கதிர்வீச்சு (Black Body Radiation)

கரும் பரப்புகள் திறன்மிக்க கதிர்வீச்சு உமிழிகள் ஆகும். அவ்வாறே அவற்றின்மீது விழும் வெப்பக்கதிர்களை உட்கவரு வதிலும் மிகுந்த திறம் பெற்றுள்ளன. கதிர்வீச்சு உமிழ்தல், உட்கவர்தல் ஆகியவற்றைப் பற்றிய சோதனைகளில் கரும் பொருள்கள் பயனுறுதி மிக்கவையாய் உள்ளன. வரையறையின்படி முழுக்கரும்பொருள் என்பது எல்லா அலைநீளங்களையும் கொண்ட கதிர்வீச்சுக்களை உட்கவரும் பொருளாகும். அவ்வாறே ஒரு கரும் பொருள் எல்லா அலைநீளங்களையும் கொண்ட கதிர்வீச்சுக்களை வெளிவிடுகிறது.

ஆய்வகத்தில், இருமுனைகளிலும் மூடப்பெற்றதும், ஒரு முனையில் சிறுதுளை ஒன்றைக்கொண்டதும்; உட்சுவர்கள்



படம் 2-22
கரும் பொருள்

கருமையிடப்பட்டதுமான உள்ளீடற்ற உலோக உருளை ஒன்று முழுக்கரும்பொருளைப் பெரிதும் ஒத்ததொரு உமிழி யாகச் செயற்படுகிறது (படம் 2-22). அதன் துளைவழியே செல்லும் எந்தவொரு கதிர்வீச்சும் அதன் ஆற்றல் முழுவதும் கரும் பொருளின் சுவர்களால் உட்கவரப்படும்வரை பல பிரதிபலிப்பு களுக்கு உள்ளாகும். மாறாக, உருளை சூடேற்றப்படுமாயின் அதன் ஒவ்வொரு பகுதியும் அதே வெப்பநிலையில் இருக்கும். எனவே

பலபடிப்பிரதிபலிப்புகளின் பயனாய் எல்லாப்பகுதிகளும் ஒரேவகைக் கதிர்வீச்சினை உமிழும். இக்கதிர்வீச்சு துளையின் வழியாக வெளியேறுமாதலால் அத்துளை கதிர்வீச்சு உமிழியாகச் செயற் படுகிறது. துளையிலிருந்து வரும் கதிர்வீச்சு கரும்பொருள் கதிர்வீச்சு என அழைக்கப்பெறுகிறது. அக்கதிர்வீச்சின் பண்பானது பொருளின் வெப்பநிலையை மட்டுமே சார்ந்துள்ளதேயன்றி அதன் பரப்பின் தன்மையைச் சார்ந்ததன்று.

2.7.6. வெப்பப் பரிமாற்றங்களைப் பற்றிய ப்ரிவோஸ்ட் கொள்கை.

ஒரு பொருள் அதனைச் சுற்றியுள்ள பொருட்களுடன் வெப்ப ஆற்றலைப் பரிமாறிக்கொள்வதாலேயே அதன் வெப்பநிலையில் உயர்வோ அல்லது தாழ்வோ ஏற்படுகிறது. வெப்பப்பரிமாற்றங் களைப் பற்றிய இக்கொள்கையானது 1792-ல் ஜெனிவாவைச் சேர்ந்த ப்ரிவோஸ்ட் என்பவரால் எடுத்துரைக்கப்பட்டது.

ப்ரிவோஸ்ட் கொள்கையின்படி ஒவ்வொரு பொருளும், அது எந்த வெப்பநிலையில் இருந்தாலும் வெப்பஆற்றலை வெளிவிடு கிறது. வெளிவிடப்படும் ஆற்றலின் அளவானது பொருளின் வெப்பநிலை மற்றும் தன்மையை மட்டுமே பொறுத்துள்ளதேயன்றி அப்பொருள் அமைந்துள்ள சூழலின் வெப்பநிலை மற்றும் தன்மையைச் சார்ந்திருப்பதில்லை. ஒரு பொருளின் வெப்பநிலை மிகும்பொழுது அது வெளிவிடும் வெப்ப ஆற்றலின் அளவும் அதிக மாகிறது. உயர் வெப்பநிலையிலுள்ள ஒரு பொருள் அதன் சூழலி லிருந்து பெறும் வெப்பத்தைவிட அதிக அளவு வெப்பத்தை வெளிவிடுகிறது. எனவே, அது வெப்பத்தை இழந்து, சூழல் வெப்பநிலையை ஏற்கிறது. இவ்வாறாக, ஒரு பொருளின் வெப்ப நிலை உயர்வு அல்லது தாழ்வு என்பது கதிர்வீச்சுப் பரிமாற்றத்தால் விளைகிறது, பொருளானது அதன் சூழலுடன் வெப்பநிலைச் சம நிலையை அடைந்தாலும் பரிமாற்றங்கள் நின்றுவிடுவதில்லை. வெப்பச் சமநிலையில், பொருளானது எவ்வளவு வெப்பத்தை ஏற்கிறதோ அவ்வளவு வெப்பத்தை வெளிவிடுகிறது.

தனிச்சுழி வெப்பநிலையிலேயே [0K அல்லது—273°C) ஒரு பொருள் வெப்பக்கதிர் வீச்சினை உமிழ்வதினின்றும் ஓய்வுறும்.

2.7.7. ஸ்டீஃபன் விதி (Stefan's Law)

கதிர்வீச்சு பற்றிய நான்மடி விதி

ப்ரிவோஸ்ட் கொள்கையானது ஒரு பொருள் வெளிவிடும் வெப்பத்தின் மொத்த அளவு அதன் வெப்பநிலையைப் பொறுத் துள்ளது எனக் கூறுகிறது.

ஸ்டீஃபன் விதியோ, முழுக்கரும்பொருள் ஒன்றின் ஓரலகுப் பரப்பினின்றும் ஒரு செகண்டில் வெளிவிடப்படும் வெப்பத்தின் மொத்த அளவானது பொருளின் கெல்வின் வெப்பநிலையின் நான்கு மடிக்கு நேர்விகிதத்திலுள்ளது எனக்கூறுகிறது.

T K வெப்பநிலையில் அமைந்த கரும்பொருள் ஒன்றின் ஓரலகுப் பரப்பினின்றும் ஒரு செகண்டில் வெளிவிடப்படும் வெப்ப ஆற்றல் E ஜூல்கள் எனில் $E \propto T^4$ அல்லது $E = \sigma T^4$ ஆகும்; σ என்பது ஸ்டீஃபன் மாறிலி என அழைக்கப்பெறுகிறது; அதன் மதிப்பு $5{\cdot}67 \times 10^{-8}\ W\ m^{-2} K^{-4}$ ஆகும்.

2.7.8. கதிர் வீச்சு எண் (Emissivity)

ஒரு பரப்பின் கதிர்வீச்சு எண் என்பது அப்பரப்பின் வெப்ப நிலையானது சூழலின் வெப்பநிலையைவிட 1 K அதிகமாக இருக்கும் போது அதன் ஓரலகுப் பரப்பினின்றும் ஒரு செகண்டில் வெளிவிடப்படும் வெப்ப ஆற்றலாகும்.

m கி.கி நிறையுள்ளதும் s அலகு தன் வெப்ப ஏற்புத்திறன் கொண்டதும் A அலகு பரப்பளவு கொண்டதுமான ஒரு பொருளின் வெப்பநிலையானது θ K வெப்பநிலையில் அமைந்ததோர் அறையில் t செகண்டுகளில் θ_1Kலிருந்து θ_2K-க்குக் குறையுமாயின், பொருளின் பரப்பின் கதிர்வீச்சு எண்

$$E = \frac{ms\,(\theta_1 - \theta_2)}{At\left[\frac{\theta_1+\theta_2}{2} - \theta\right]}$$ ஜூல்கள் / செகண்டு / சதுர மீட்டர் / கெல்வின் வெப்பநிலை மிகுதி

ஆகும்.

ஒத்த சூழல்களில் கரும்பரப்பு ஒன்றின் கதிர்வீச்சு எண்ணானது மெருகேற்றப்பட்ட பரப்பு ஒன்றின் கதிர்வீச்சு எண்ணைவிட அதிக மாக இருக்கும்.

கதிர்வீசு திறன் (Emissive Power)

ஒரு பரப்பின் கதிர்வீசு திறன் என்பது ஒத்த வெப்பநிலைச் சூழல்களில் ஒரு செகண்டில் அப்பரப்பினின்றும் வெளிவிடப்படும் வெப்பத்திற்கும் முழுக்கரும்பொருள் ஒன்றின் அதே அளவுப் பரப்பி னின்றும் வெளிவிடப்படும் வெப்பத்திற்கும் உள்ள விகிதமாகும்.

ஒரு குறிப்பிட்ட பரப்பின் கதிர்வீச்சு எண் E_1 எனவும், அதே பரப்பு புகைக்கரியால் பூசப்பட்ட போது அதன் கதிர்வீச்சு எண் E எனவும் கொள்வோமாயின், அதன்

$$\text{கதிர்வீசு திறன் } e = \frac{E_1}{E} \text{ ஆகும்.}$$

உட்கவர் திறன் (Absorptive Power)

ஒரு பரப்பின் உட்கவர் திறன் என்பது ஒரு குறிப்பிட்ட கால அளவில் அதனால் உட்கவரப்படும் வெப்ப ஆற்றலுக்கும், அதே கால அளவில் அப்பரப்பிற்கு நேர்குத்தாக அதன் மீது விழும் வெப்ப ஆற்றலுக்கும் உள்ள விகிதமாகும்.

ஒரு குறிப்பிட்ட கால அளவில் ஒரு பரப்பினால் உட்கவரப்படும வெப்பம் Q_1 ஜூல்கள் எனவும் அதே கால அளவில் அதன்மீது நேர் குத்தாக விழும் வெப்பத்தின் அளவு Q ஜூல்கள் எனவும் கொள்வோமாயின், அப்பரப்பின்

$$\text{உட்கவர்திறன் } a = \frac{Q_1}{Q} \text{ ஆகும்.}$$

கதிர்வீசு திறனுக்கும், உட்கவர் திறனுக்கும் உள்ள தொடர்பினைப் பற்றிய விதி ஒன்றை 1859-ல் கிர்க்காஃப் என்பவர் எடுத்துரைத்தார்.

2.7.9. கிர்க்காஃப் விதி

ஒரு குறிப்பிட்ட வெப்பநிலையில் எல்லாப் பொருள்களுக்கும் கதிர்வீசு திறனுக்கும் உட்கவர் திறனுக்குமான விகிதம் ஒரே அளவாய் இருப்பதோடு முழுக்கரும்பொருளின் கதிர்வீசு திறனுக்கும் சமமாக உள்ளது.

எனவே, ஒரு பரப்பின் கதிர்வீசுதிறன் அதன் உட்கவர் திறனுக்கு நேர் விகிதத்திலுள்ளது.

கிர்க்காஃப் விதி வானியற்பியலிலும் (சூரியன் மற்றும் விண்மீன் களைப் பற்றிய இயற்பியல்) நிறமாலையியலிலும் பயன்படுகிறது.

2.7.10. வெந்தழலியல் (Pyrometry)

உயர் வெப்பநிலைகளை அளவிடும் கலை வெந்தழலியல் என அழைக்கப் பெறுகிறது; அதற்குப் பயன்படும் கருவிகள் வெந்தழல் மானிகள் (பைரோ மீட்டர்கள்) என அழைக்கப் பெறுகின்றன. கரும்பொருள் ஒன்றிலிருந்து வெளிவரும் கதிர்வீச்சு அதன் வெப்பநிலையைச் சார்ந்துள்ளது எனக் கண்டோம். கதிர் வீச்சுத் தத்துவத்தை அடிப்படையாகக் கொண்டு உயர்வெப்ப நிலைகளை அளவிடும் வெந்தழல்மானிகள் கதிர்வீச்சு வெந்தழல் மானிகள் எனப்படுகின்றன. கதிர்வீச்சு வெந்தழல் மானிகள் இருவகைப்பட்டவை. அவையாவன:

(i) முழுக்கதிர்வீச்சு வெங்தழல்மானிகள்

(i) ஒளியியல் வெங்தழல்மானிகள்.

ஒளியியல் வெங்தழல்மானிகளின் தத்துவம்

மிக உயர்ந்த வெப்பநிலைகளில் உள்ள பொருட்கள் ஒளியை வெளிவிடுகின்றன. அவற்றின் வெப்பநிலை மிகும் பொழுது ஒளிர்தலும் அதிகமாகிறது. இக்கருத்தையே ஒளியியல் வெங்தழல்மானிகள் அடிப்படையாகக் கொண்டுள்ளன.

ஒளியியல் வெங்தழல்மானிகளை இருவகைப்படுத்தலாம். அவையாவன:

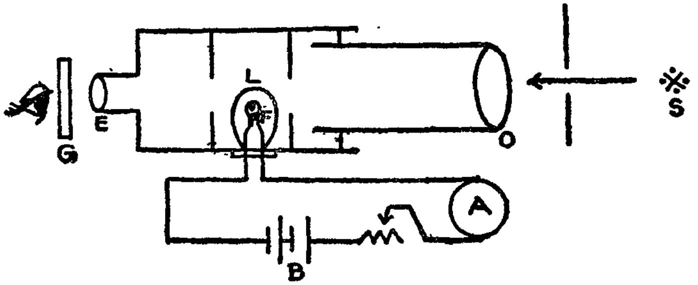
(i) மறையும் மின்னிழை வெங்தழல் மானிகள் (Disappearing Filament Pyrometers)

(ii) தளவியல் வெங்தழல்மானிகள் (Polarising Pyrometers)

மறையும் மின்னிழை வெங்தழல்மானி

மறையும் மின்னிழை வெங்தல்மானி ஒளியியல் வெங்தழல்மானிகளுள் ஒரு வகையாகும். இது மோர்ஸ் என்பவரால் உருவமைக்கப்பட்டு ஹால்போன் மற்றும் ஹென்னிங் என்போரால் மேம்படுத்தப்பட்டது.

இந்த வெங்தழல்மானியில் குறைந்த திறன் தொலைநோக்கி (EO) ஒன்று உள்ளது (படம் 2-23). இத்தொலைநோக்கியில்



படம் 2-23
மறையும் மின்னிழை வெங்தழல்மானி

குறுக்கிணைக் கம்பிகளுக்குப் பதிலாக டங்ஸ்டன் மின்னிழை விளக்கு ஒன்று உள்ளது. தொலைநோக்கியின் கண்ணருகு கருவியானது

மின்னிழை (F) மீது குவியப்படுத்தப்படுகிறது. வெப்பநிலை அளவிடப்படவேண்டிய வெப்பமூலமானது (S) தொலைநோக்கியின் பொருளருகு லென்ஸிலிருந்து (O) நீண்ட தொலைவில் உள்ளது. பொருளருகு லென்சானது மின்னிழை மீது வெப்பமூலத்தின் மெய்ப்பிம்பம் ஒன்றை உருவாக்குகிறது. இப்பிம்பமும், மின்னிழையும் கண்ணருகு கருவியில் அமைக்கப்பட்ட சிவப்பு வடிப்பான் கண்ணாடி (G) ஒன்றின் வழியாக நோக்கப்படுகின்றன.

மின்னிழையினை B என்ற மின்கல அடுக்கினால் சூடேற்றலாம். மின்னோட்டத்தை A என்ற அம்மீட்டரால் அளவிடலாம். தடை மாற்றியின் உதவியுடன் மின்னோட்டத்தை மாற்றி மின்னிழையின் வெப்பநிலையை மாற்றலாம். மின்னோட்டம் அதிகமாக இருப்பின் மின்னிழையானது பிம்பத்தைவிடப் பொலிவு பெற்று காணப்படும். மின்னோட்டம் குறைவாக இருந்தாலோ மின்னிழையானது பிம்பத்தைவிடப் பொலிவு குன்றி காணப்படும். மின்னிழையைப் பிம்பத்தினின்றும் பிரித்தறிய இயலாத வகையில் மின்னோட்டத்தின் அளவு சரிசெய்யப்படுகிறது. இந்நிலையில் வெப்பமூலம் வெளிவிடும் செவ்வொளியின் பொலிவும், மின்னிழை வெளிவிடும் அவ்வொளியின் பொலிவும் சமமாக இருக்கும். எனவே, அவையிரண்டும் ஒரே வெப்பநிலையில் அமையும், அம்மீட்டரானது வெப்பநிலை அளவுக் குறியீடு செய்யப் பெற்றிருக்குமாயின் அம்மீட்டர் அளவு நேரடியாக வெப்பமூலத்தின் வெப்பநிலையை அளிக்கும்.

ஒளியியல் வெந்தழல்மானிகளை 3000 K வரையிலான வெப்பநிலைகளை அளவிடப் பயன்படுத்தலாம். இவற்றின் நற்பயன்கள் வருமாறு :

i. எந்தவொரு உயர்ந்த வெப்பநிலையையும் அளவிட அவற்றைப் பயன்படுத்தலாம்.

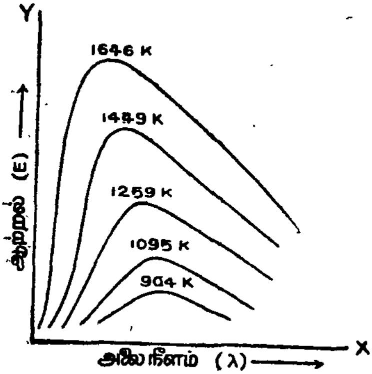
ii. வெப்பமூலம் எவ்வளவு தொலைவில் இருந்தாலும் அவற்றைப் பயன்படுத்தலாம்.

2.8. கரும்பொருள் நிறமாலையில் ஆற்றல் பங்கீடு

கார்பன் துண்டு ஒன்று சிறிது சிறிதாகச் சூடேற்றப்படுமாயின், அது முதலில் கருஞ்சூட்டையும் (கட்புலனாகாத சூடு) பின்னர் செஞ்சூட்டையும் இறுதியாக வெண்சூட்டையும் வெளிவிடுகிறது. அவ்வாறே, கருமையிடப் பெற்ற பிளாட்டினக் கம்பி ஒன்றில் மின்னோட்டத்தைச் செலுத்தி அதனைச் சூடேற்றுவோமாயின்

சுமார் 800 K வெப்பநிலையில் அது மங்கிய சிவப்பு நிறத்துடன் தோற்றமளிக்கும். மேலும் சூடேற்றுவோமாயின் சுமார் 1300 K-ல் ஆரஞ்சு சிவப்பாகவும், 1500 K-ல் மஞ்சளாகவும், இறுதியாக 1900 K-ல் வெண்மையாகவும் தோன்றும். இதிலிருந்து ஒரு பொருளின் வெப்பநிலை மிகும் பொழுது அதனின்றும் வெளிவிடப் படும் கதிர்வீச்சில் மேன்மேலும் குறைந்த அலைநீளங்களைக் கொண்ட கதிர்வீச்சுக்கள் அமைகின்றன என அறியலாம். கரும் பொருள் கதிர்வீச்சின் தொடர்நிறமாலையில் வெவ்வேறு அலைநீளங் களுக்கிடையேயான ஆற்றல் பங்கீட்டினை ஆராய்வதற்கென சோதனைகள் மேற்கொள்ளப்பட்டன. அத்தகைய சோதனைகளி லிருந்து வெப்பநிலை மிகும்போது அதிக ஆற்றலைக் கொண்ட கதிர் வீச்சுக்குரிய அலைநீளமானது படம் 2-24-ல் உள்ளது போன்று சிறிது சிறிதாகக் குறைவது காணப்பட்டது.

2. 8. 1. வியன் இடப்பெயர்ச்சி விதி (Wien's Displacement Law)



படம் 2-24
கதிர்வீச்சின் ஆற்றல், அலைநீளம் தொடர்பு

முழுக் கரும்பொருள் ஒன்றி லிருந்து வெளிவிடப்படும் கதிர் வீச்சுக்கள் முப்பட்டகம் ஒன்றின் வழியே செலுத்தப்படுமாயின் அவை நிறப்பிரிகை பெற்று தொடர்நிறமாலை ஒன்றை உரு வாக்குகின்றன. லம்மர் மற்றும் ப்ரிங்ஷீம் ஆகிய இருவரும் கரும் பொருள் ஒன்றை வெவ்வேறு வெப்ப நிலைகளில் அமைத்து அதனின்றும் வெளிவரும் கதிர் வீச்சின் செறிவுகளைச் சோதனை மூலம் ஆராய்ந்தனர். அவர்களது காட்சிப் பதிவுகளை வரைபடம் 2-24-இல் காண லாம். வரைபடத்திலிருந்து

(i) வெப்ப நிலை மிகும்பொழுது நிறமாலையின் ஆற்றல் பங் கீடும் அதிகமாகிறது.

(ii) ஒவ்வொரு வெப்ப நிலையிலும் செறிவானது ஒரு குறிப் பிட்ட அலை நீளத்திற்கு (λ_m)ப் பெருமமாக உள்ளது.

(iii) வெப்பநிலை மிகும்பொழுது பெருமச் செறிவுக்குரிய அலை நீளமானது மேன் மேலும் குறைந்த மதிப்புக்களைப் பெறு கிறது.

வியன் இடப்பெயர்ச்சி விதியானது பெருமச் செறிவுக்குரிய அலை நீளத்திற்கும் (λ_m) கரும் பொருளின் வெப்ப நிலைக்கும் (T) உள்ள தொடர்பை எடுத்துரைக்கிறது. அவ்விதியின்படி, கரும் பொருள் நிறமாலை ஒன்றின் பெரும ஆற்றலுக்குரிய கதிர்வீச்சின் அலை நீளமானது (λ_m) பொருளின் கெல்வின் வெப்ப நிலைக்கு எதிர்விகிதத்திலுள்ளது. அதாவது,

$$\lambda_m \propto \frac{1}{T}$$

அல்லது $\lambda_m T = b$;

b என்பது வியன் மாறிலியாகும் ; அதன் மதிப்பு $2{\cdot}898 \times 10^{-3}$ mK ஆகும்.

2.8.2. ராலே-ஜீன்ஸ் விதி (Rayleigh-Jeans Law)

மின் காந்தக் கொள்கையின்படி கரும்பொருள் ஒன்று சுழிமுதல் முடிவிலி வரையிலான (தொடர்ந்து மாறக்கூடிய) எல்லா அலை நீளங்களையும் கொண்ட கதிர் வீச்சினை வெளிவிடுகிறது. அக்கதிர் வீச்சானது பல்வேறு ஒருநிற அலைத் தொடர்களைக் கொண்டதாகக் கருதப்படுகிறது. ஒரு குறிப்பிட்ட அலைநீள நெடுக்கத்தில் (காட்டாக, λ மற்றும் $\lambda + d\lambda$ அலை நீளங்களுக்கிடைப்பட்ட $d\lambda$ அளவிலான அலை நீள்பகுதியில்) அமைந்த அத்தகைய அலைத் தொடர்களின் எண்ணிக்கையை நிகழ்கிற விதிகளைப் பயன்படுத்திப் பெற முடியும். அதனின்றும் ஆற்றல் பங்கீட்டினை, அதாவது, $d\lambda$ அளவிலான பல்வேறு அலை நீளப்பகுதியில் வெளிவிடப்படும் ஆற்றல் மதிப்புக்களைப் பெறமுடியும். அவ்வாறு பெறப்பட்ட ஆற்றல் பங்கீட்டிற்கான தொடர்பு

$$d_E = B\lambda^{-4} T e^{-\frac{a}{\lambda T}} d\lambda$$

ஆகும் ; தொடர்பில் a, B என்பன மாறிலிகளாகும். இத்தொடர்பே ஆற்றல் பங்கீட்டிற்கான ராலே-ஜீன்ஸ் விதி எனப் பெறுகிறது.

இத்தொடர்பானது நீண்ட அலை நீளப்பகுதிகளில் மட்டுமே சோதனையில் முடிவுகளுடன் பொருந்துகிறது என ரூபன்ஸ் மற்றும் கர்ல்பாம் ஆகிய இருவரும் நிறுவினர். வியன் விதியோ குறைந்த அலைநீளப் பகுதிகளில் மட்டுமே பொருந்துகிறது.

2.8.3. ப்ளாங்க் விதி (Planck's Law)

கொள்கையியலாகப் பெறப்பட்ட வியன் மற்றும் ராலே-ஜீன்ஸ் விதிகள் கரும் பொருள் கதிர்வீச்சு நிறமாலையின் முழு அலைநீளப்

பகுதிக்குமுரிய சோதனையியல் முடிவுகளுக்கு விளக்கம் தர இயலாது அமைந்தன. மேலும், அவ்விதிகள் தவறானதும், பொருத்தமறறது மான முடிவுகளுக்கு வழி வகுத்தன. இந்நிலையில் மாக்ஸ் ப்ளாங்க் என்பார் **குவாண்டம்** (quantum)கொள்கை என்றபுதியதொரு புரட்சிக் கருத்தை வெளியிட்டுக் கரும்பொருள் கதிர்வீச்சின் ஆற்றல் பங்கீட்டிற்கான சரியான விதியைப் பெற்றார். அக்கருத்தின்படி கரும்பொருள் கதிர்வீச்சானது தொடர்ச்சியாக அன்றிச் சிறுசிறு சிப்பங்களாக (packets) வெளிவிடப்படுகிறது. அவை குவான்டம்கள் அல்லது **ஃபோட்டான்கள்** என அழைக்கப் பெறுகின்றன. மேலும், கதிர்வீச்சு ஒன்றின் அதிர்வெண் ν எனில் அக்கதிர்வீச்சுக்குரிய ஃபோட்டான் ஒவ்வொன்றும்

$$E = h\nu$$

என்னும் ஆற்றலைத் தாங்கிச் செல்கின்றது; h என்பது **ப்ளாங்க் மாறிலி** என அழைக்கப்படுகிறது.

குவான்டம் கொள்கையின் அடிப்படையில், கரும்பொருள் நிற மாலையின் ஆற்றல் பங்கீட்டிற்கான தொடர்பு ஒன்றைப் ப்ளாங்க் பெற்றார். அத்தொடர்பானது

$$E_\lambda = \frac{c_1}{\lambda^5}\left(e^{c_2/\lambda t} - 1\right)^{-1}$$

ஆகும்; தொடர்பில் E_λ என்பது T வெப்ப நிலையிலமைந்த ஓர் உள்ளீடத்தில் கதிர்வீச்சின் ஆற்றலடர்த்தி; $c_1 = 4{\cdot}992 \times 10^{-24}$ J m; $c_2 = 1{\cdot}4388 \times 10^{-2}$ m K ஆகும். இத்தொடர்பு சோதனையியல் முடிவுகளுடன் முற்றிலும் பொருந்துகிறது.

2.8.4. சூரியக் கதிர்வீச்சு

சூரியனானது எல்லாத் திசைகளிலும் வெப்ப ஆற்றலை வெளிவிடுகிறது. அவ்வாறு வெளிவிடப்படும் ஆற்றலில், வளிமண்டலம், முகில்கள் மற்றும் தூசுத்துகள்களால் உட்கவரப்பட்டும், பிரதிபலிக்கப்பட்டும், சிதறடிக்கப்பட்டதும் போக எஞ்சி நிற்கும் ஒரு மிகச் சிறு பகுதி மட்டுமே புவிப்பரப்பை வந்தடைகிறது. இவ்வாறு புவிப் பரப்பை வந்தடையும் கதிர்வீச்சின் அளவு அளவிடப்படுமாயின் சூரியனின் மேற்பரப்பு வெப்ப நிலையைக் கணக்கிட முடியும். இதற்குச் சூரியமாறிலி என்றதொரு அளவைப்பற்றி அறிய வேண்டும்.

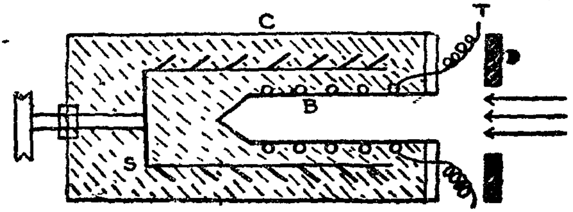
2.8.5. சூரிய மாறிலி

சூரிய மாறிலி என்பது சராசரிச் சூரிய நாளொன்றில் நண்பகல் வேளையில் சூரியனிடமிருந்து புவியின் சராசரித் தொலைவில் வளி மண்டலத்திற்கு அப்பால் சூரியக்கதிர்களுக்கு நேர்குத்தாக வைக்கப் பட்ட முழுக் கரும்பரப்பு ஒன்றின் ஓரலகுப் பரப்பில் ஒரு செகண்டில் வந்தடையும் சூரியக் கதிர்வீச்சின் அளவாகும்.

சூரிய மாறிலியைச் சூரியக் கதிர்வீச்சுமானி என்னும் கருவியால் மதிப்பிடலாம். சூரியக் கதிர்வீச்சுமானிகள், நீர் பாய்ச்சு சூரியக் கதிர்வீச்சுமானி, நீர் கலக்கு சூரியக்கதிர்வீச்சுமானி, ஆங்ஸ்ட்ராம் சூரியக் கதிர்வீச்சுமானி எனப் பலவகைப்படுகின்றன. அவற்றுள் நீர்கலக்கு சூரியக் கதிர்வீச்சுமானியைப்பற்றி இங்கு விரிவாகக் காண்போம்.

2.8.6. நீர்கலக்கு சூரியக் கதிர்வீச்சுமானி

இக்கதிர்வீச்சுமானியில் நீரடங்கிய, உருளை வடிவிலான C என்ற ஒரு கேலரிமானி உள்ளது (படம் 2-25). கூம்பு முனையுடைய B



படம் 2-25

நீர்கலக்கு சூரியக் கதிர்வீச்சுமானி

என்ற சிறிய உலோக உருளி ஒன்று கேலரிமானியினுள் பொதுவச்சு நிலையில் அமைக்கப் பெற்றுள்ளது. இதன் உட்பரப்பானது அதன் மீது விழும் கதிர்வீச்சு முழுவதையும் உட்கவர்தற்கேற்ப கருமை யிடப்பட்டுள்ளது. கேலரிமானியிலுள்ள நீரானது சிறு மோட்டார் ஒன்றினால் இயக்கப்படும் கலக்கி ஒன்றினால் (S) கலக்கப்படுகிறது. கேலரிமானி மற்றும் அதிலடங்கிய நீரின் வெப்ப நிலையானது பிளாட்டின மின்தடை வெப்ப நிலைமானி (T) ஒன்றால் அளவிடப் படுகிறது. கேலரிமானியின் முன் மையத்திறப்புடைய இடைத்திரை (D) ஒன்று உள்ளது.

முதலில் கேலரிமானி மற்றும் அதிலடங்கிய பொருள்களின் வெப்பச் சமநீர் எடை (W) காணப்படுகிறது. அவற்றின் தொடக்க

வெப்ப நிலை (θ_1) அளவிடப்படுகிறது. சூரியக் கதிர்களை நேர்குத்தாக ஏற்கும் வகையில் கேலரிமானி அமைக்கப்படுகிறது. t செகண்டுகளுக்குக் கதிர்வீச்சு ஏற்கப்பட்ட பின்னர் கேலரிமானியின் இறுதி வெப்ப நிலை (θ_2) அளவிடப்படுகிறது.

இடைத்திரையின் மையத் திறப்பின் பரப்பளவு a சதுர மீட்டர் எனில்

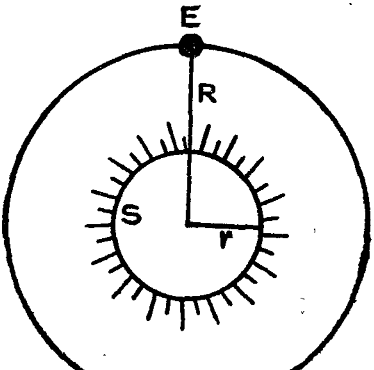
$$\text{சூரிய மாறிலி } S = \frac{W\ (\theta_2 - \theta_1)}{at}\ Js^{-1}\ m^{-2}$$

என்னும் தொடர்பினால் பெறப்படுகிறது.

சோதனை புவிப்பரப்பில் செய்யப்படுவதால் கதிர்வீச்சின் வளிமண்டல உட்கவர்தலுக்கான திருத்தம் ஒன்று செய்யப் பெறுகிறது. அவ்வாறு கணக்கிடப்பட்ட சூரிய மாறிலியின் மதிப்பு 1400 $Js^{-1}m^{-2}$ ஆகும்.

2. 8. 7. சூரியனின் வெப்பநிலை

சூரிய மாறிலியின் மதிப்பிலிருந்து சூரியனின் மேற்பரப்பு வெப்ப நிலையைப் பின்வருமாறு மதிப்பிடலாம்.



படம் 2 26
சூரியனின் வெப்ப நிலை காணல்.

சூரியனின் மேற்பரப்பு வெப்ப நிலை T எனவும் ஸ்டீஃபன் மாறிலி σ எனவும் கொள்வோம். சூரியனின் ஓரலகுப் பரப்பிலிருந்தும் ஒரு செகண்டில் வெளிவிடப்படும் ஆற்றல் σT^4 ஆகும். சூரியனின் ஆரம் r எனில் அதன் பரப்பளவு $4\pi r^2$ ஆகும். எனவே, சூரியனின்

முழுப் பரப்பினின்றும் ஒரு செகண்டில் வெளிவிடப்படும் மொத்த ஆற்றல் $W = 4\pi r^2 \sigma T^4$ ஆகும்.

சூரியனுக்கும் புவிக்குமிடையேயான தொலைவு R எனில், சூரியனால் வெளிவிடப்படும் ஆற்றலானது $4\pi R^2$ அளவு பரப்பின் மீது பரவி விழுகிறது (படம் 2-26). எனவே, புவியின் ஓரலகுப் பரப்பில் ஒரு செகண்டில் ஏற்கப்படும் வெப்பம் $= \frac{W}{4\pi R^2}$

$$= \frac{4\pi r^2 \sigma T^4}{4\pi R^2}$$

$$= \frac{r^2 \sigma T^4}{R^2}$$

வரையறையின்படி இது சூரிய மாறிலிக்குச் சமமாகும்.

$$\therefore \quad S = \frac{r^2 \sigma T^4}{R^2}$$

$$\therefore \quad T = \left[\frac{R^2}{r^2} \cdot \frac{S}{\sigma} \right]^{\frac{1}{4}}$$

எனவே, இத்தொடர்பினின்றும் சூரியனின் மேற்பரப்பு வெப்பநிலையைக் கணக்கிடலாம்.

கணக்கீடு

சூரியனின் ஆரம் $r = 6{\cdot}96 \times 10^5\ Km$

சூரியனிலிருந்து புவியின் சராசரித் தொலைவு $R = 1{\cdot}496 \times 10^8 Km$

சூரியமாறிலி $S = 1400\ J s^{-1} m^{-2}$

ஸ்டீஃபன் மாறிலி $\sigma = 5{\cdot}6696 \times 10^{-8} Js^{-1} m^{-2} K^{-4}$

சூரியனின் மேற்பரப்பு வெப்பநிலை

$$T = \left[\frac{(1{\cdot}496 \times 10^8)^2 \times 1400}{(6{\cdot}96 \times 10^5)^2 \times 5{\cdot}67 \times 10^{-8}} \right]^{\frac{1}{4}}$$

$$= 5812\ K$$

எனவே, சூரியன் மேற்பரப்பு வெப்பநிலை சுமார் 5800 K ஆகும்.

வினாக்கள்

1. இயக்கவியற் கொள்கையின் எடுகோள்களைக் கூறுக.
2. வாயுவின் அழுத்தத்திற்கான கோவையைப் பெறுக.
3. வாயு மூலக்கூறுகளின் இயக்க ஆற்றல் கெல்வின் வெப்ப நிலைக்கு நேர்விகிதத்திலுள்ளது என நிறுவுக.

4. சராசரி மோதலிடைத் தூரத்தை விளக்குக.

5. இயக்கவியற் கொள்கையின் அடிப்படைக் கருத்து யாது?

6. வாயு ஒன்று அழுத்தத்தை அளிப்பது எங்ஙனம் என விளக்குக.

7. RMS திசைவேகம், சராசரித் திசைவேகம் ஆகியவற்றைப பிரித்துக் காண்க.

8. இயக்கவியற் கொள்கைக்கான ஆதாரச் சான்றுகளைக் கூறுக.

9. "ஆவியாதல் என்பது ஒரு குளிர்தல் நிகழ்ச்சி." இயக்க வியற் கொள்கையின் அடிப்படையில் விளக்கம் தருக.

10. வாயு ஒன்று அமுக்கப்படும்போது அதன் வெப்ப நிலை உயர்வது ஏன் என விளக்குக.

11. பின்வரும் சொற்றொடர்களை நிறைவு செய்க:

i. மூலக்கூறுகளின் விட்டங்களை நோக்க அவை ———

ii. வாயு மூலக்கூறுகள் ——— வேகத்துடன் ——— இயங்கு கின்றன.

iii. வாயு ஒன்றின் ஒவ்வொரு மூலக்கூறும் பிற மூலக்கூறு களுடன் ——— கின்றன.

iv. வாயு மூலக்கூறுகள் கலத்தின் ——— உடன் ——— வதால் வாயுக்கள் அழுத்தத்தை அளிக்கின்றன.

v. வாயு மூலக்கூறுகளின் இயக்க ஆற்றல் ——— க்கு நேர் விகிதத்தில் உள்ளது.

12. பின்வரும் கூற்றுகள் மெய்யா, பொய்யா எனக் குறிப்பிடுக:

i. பருப்பொருள் மூலக்கூறுகளால் ஆனது.

ii. வாயு மூலக்கூறுகள் மிதமான வேகத்துடன் இயங்குகின்றன.

iii. வாயு ஒன்றில் ஒவ்வொரு மூலக்கூறின் திசை வேகமானது தொடர்ந்து மாறுகிறது.

iv. சுழித் தனி வெப்பநிலையில் மூலக்கூறுகளின் இயக்க ஆற்றல் சுழியாகும்.

v. வாயு ஒன்று நிரப்பும் பருமனில் பெரும் பகுதி வெற்று வெளியாகும்.

13. கார்பன் டை ஆக்ஸைடைக் கொண்டு செய்யப் பெற்ற ஆண்ட்ரூஸின் சோதனையை விளக்குக.

14. மாறு நிலை மாறிலிகளை வரையறுத்துக் கூறுக.

15. சம வெப்பநிலை, மற்றும் வெப்ப மாற்றீடற்ற நிகழ்வு களைப் பிரித்துக் காண்க.

16. வாயு ஒன்றின் தன் வெபப ஏற்புத்திறன்களின் விகிதத தைக் காண்பதற்கான க்ளெமென்ட்—டிசார்ம் முறையினை விளக்குக.

17. வாயு ஒன்று ஆவி என அழைக்கப்பெறுவது எப்போது?

18. வாயு, ஆவி ஆகியவற்றைப் பிரித்துக் காண்க.

19. ஆவி ஒன்றின் மாறுநிலை நிலையில் அதன் பண்புகளைக் கூறுக.

20. சூடேற்றாமல் நீரைக் கொதிக்க வைக்க முடியுமா?

21. வாயு ஒன்று அமுக்கப்படும்போது அது சூடேறுகிறது. இந்நிகழ்ச்சியில் வெப்பமாற்றீடு ஏதேனும் உண்டா?

22. கலம் ஒன்றினுள் அமைந்த வாயு ஒன்று சூடேற்றப்படு கிறது. அதன் அடர்த்தி

(a) கூடும் (b) குறையும் (c) மாறாமல் இருக்கும்.

23. ஆக்ஸிஜன், ஹைடிரஜன் மற்றும் நைட்ரஜன் ஆகியவை நிரந்தர வாயுக்கள் என அழைக்கப்படுவதேன்?

24. வாயு ஒன்று அமுக்கப்படும்போது அதன் வெப்ப நிலை உயர்வதற்கான காரணத்தை விளக்குக.

25. வாயு ஒன்று சூடேறும்போது பங்குபெறும் வேலையின் தன்மை யாது?

26. C_p, C_v ஆகியவற்றுள் எது பெரியது?

27. C_p, C_v ஆகியவற்றிற்கிடையேயான தொடர்பைத் தருக.

28. வெப்ப எஞ்சின் என்றால் என்ன?

29. இலட்சிய வெப்ப எஞ்சின் ஒன்றின் உறுப்புக்கள் யாவை?

30. வெப்ப எஞ்சின் ஒன்று செயலாற்றுவதற்குக் குளிர் பொருள் ஒன்று இன்றியமையாதது ஏன் என விளக்குக.

31. வெப்ப எஞ்சின் ஒன்று 100% இயக்கு திறததைப் பெற முடியாதது ஏன் என விளக்குக.

32. சுட்டுப்படம் என்றால் என்ன? அது ஏன் அவ்வாறு அழைக்கப்படுகிறது?

33. வெப்ப எஞ்சினின் இயக்கு திறத்தை வரையறுத்துக் கூறி அதற்கான கோவையைப் பெறுக.

34. கெல்வின் வெப்பநிலை அளவீட்டு முறையில் எதிரின் வெப்பநிலை அமைய முடியாதது ஏன் ?

35. வெப்ப இயக்கவியல் இரண்டாம் விதியைக் கூறுக.

36. இளங்காற்று ஒன்று குளிர்ச்சியூட்டுகிறது. விளக்குக.

37. புகைபோக்கி புகையைப் போக்குவது ஏன் ?

38. குளிர்காலங்களில் பனி புல்லைப் பாதுகாப்பது எங்ஙனம் ?

39. குளிர்காலங்களில் நமது ஆடைகள் நமக்கு வெப்பத்தை அளிக்கின்றனவா? அவை நமது உடலை வெதுவெதுப்பாக வைத்திருப்பது எங்ஙனம்?

40. வெப்பக் கடத்தல் நிகழ்வதற்கான நிபந்தனை யாது?

41. நற்கடத்தி ஒன்றின் வெப்பங்கடத்து திறனைக் காண்பதற்கான சியர்ள் முறையை விளக்குக.

42. அரிதிற் கடத்தி ஒன்றின் வெப்பங்கடத்துதிறனைக் காண்பதற்கான லீ வட்டு முறையை விளக்குக.

43. மின்நற்கடத்திகள் பொதுவாக வெப்பநற்கடத்திகளாகவும் விளங்குவது ஏன் ?

44. மின்நற்கடத்திகள் பொதுவாக நல்ல வெப்பநற்கடத்திகளாகவும் அமைகின்றன. இதற்கு ஒரு விதிவிலக்கை கூறுக.

45. கரும்பொருள் ஒன்றின் முக்கிய பண்புகளைக் கூறுக.

46. பனிக்கட்டிகள் வெப்பக்கதிர்வீச்சை வெளிவிடுகின்றனவா?

47. கீராவி வெப்ப உமிழி ஒன்றிற்கு கறுப்பு வண்ணங் கொடுத்தல் சிக்கனமானதா?

48. ஒளிமங்கிய உலோகக்குவளை ஒன்றின் வைக்கப்பட்ட தேநீர் விரைவில் குளிர்வதேன்?

49. மின்சார இஸ்திரிப்பெட்டி குளிர்வதற்கு நீண்டநேரம் எடுப்பதேன்?

50. எண்ணெய் சேமிப்புத்தொட்டிகள் வெள்ளைவண்ணம் பூசப்படுவதேன்?

51. வெந்நீர் சூடேற்றலுக்கான மிக முக்கியமுறை யாது?

52. குடைததுணி கறுப்பாக இருப்பதேன்?

53. எத்தகைய பரப்பு பெருமக்கதிர்வீச்சு எண்ணைக் கொண்டிருக்கும்?

54. வியன்விதியின் மிக முக்கிய பயன் யாது?

55. வெந்தழல்மானி என்றால் என்ன? அது எத்தனை வகைப் படும்?

56. சூரிய மாறிலியை மதிப்பிடுவதற்கான ஒரு முறையை விளக்குக.

57. வெப்பப்பரிமாற்றங்களைப் பற்றிய ப்ரிவோஸ்ட் கொள்கை யினின்று நீ அறிந்துகொள்வது யாது?

3. மின்னியலும் காந்தவியலும்

3. 1. நிலை மின்னியல்

இயற்பியலின் ஒரு பகுதியான நிலை மின்னியலின், நிலையாக உள்ள மின்னூட்டங்களின் பண்புகளைப் பற்றிக் கற்கிறோம். பல நூற்றாண்டுகளுக்கு முன்னரே மக்கள் நிலை மின்னூட்டங்களையும், அவற்றின் சில பண்புகளையும் அறிந்திருந்தனர்; அவற்றால் பயனும் பெற்றனர். இந்த நூற்றாண்டில் நிலை மின்னூட்டங்களைப் பற்றிய அறிவு வளர்ந்துள்ளது; அவற்றின் பயன்களும் பெருகியுள்ளன.

அணுக் கட்டமைப்பும், பருப்பொருளின் தன்மையும் நிலை மின்னூட்டங்கள் வாயிலாக விளங்கிக் கொள்ளப்பட்டுள்ளன. காற்றைத் தூய்மையாக்கவும், துகள்களை முடுக்கவும், ஏன்; ஒலிபெருக்கியிலும் கூட நிலை மின்னியல் தத்துவங்கள் பயன்படுகின்றன. அச்சுக்கூடம், நெசவாலைகளில் நிலை மின்னூட்டங்களால் ஏற்படும் தீமைகளை நீக்க வழிமுறைகள் காணப்பட்டுள்ளன. மின்தேக்கி என்ற ஒரு சாதனத்தில் மின்னூட்டத்தைத் தேக்கி வைக்கலாம். உடன் அதனை நீக்கி, மீண்டும் மின்னூட்டலாம். இவ்வாறு ஒரு செகண்டுக்குப் பல மில்லியன் முறைகள் மாற்றி மாற்றி மின்னேற்றவும் மின்னிறக்கவும் செய்வதால் ரேடியோ, டெலிவிஷன் மற்றும் பல கருவிகளில் பல பயன்கள் பெறப்படுகின்றன.

3.1.1. மின்தேக்கு திறன்

ஒரு கடத்தி மின்னூட்டப்படும்பொழுது அது மின்னழுத்தத்தைப் பெறுகிறது என முன்னர் கற்றோம். அதாவது, அக்கடத்திக்கு மேலும் மின்னூட்டம் அளிப்பதற்கு வேலை செய்யப்படவேண்டும். இவ்வாறு செய்யப்படும் வேலையின் அளவைக் கொண்டு அக்கடத்தியின் மின்னழுத்தத்தை அளக்கிறோம்.

ϵ என்ற சார்பு விடுதிறன் கொண்ட ஊடகம் ஒன்றில் அமைந்த புறத்தொடர்பு அற்ற கோள வடிவக் கடத்தியைக் கருதுவோம். இதன் ஆரம் R என்க. இதன் மீதுள்ள மின்னூட்டம் Q எனில் அக்கடத்தியின் மின்னழுத்தம் $V = \frac{1}{4\pi\epsilon^{0}} \frac{V}{R}$ என நிறுவலாம். இங்கு ϵ_0 = கோளத்தைச் சூழ்ந்துள்ள வெற்றிடத்தின் விடுதிறன் ஆகும் அதாவது $Q = 4\pi \epsilon_0 \epsilon_r R.V.$

அல்லது $Q \propto V$

எனவே புறத்தொடர்பு இல்லாத ஒரு கடத்தியின் (அது எந்தவடிவம் உடையது ஆனாலும்) மீதுள்ள மின்னூட்டம் அதன் மின்னழுத்தத்திற்கு நேர் விகிதத்திலுள்ளது. ஆகையால்

$$Q = CV$$

என எழுதலாம். இங்கு C விகித மாறிலியாகும். C-யை, கடத்தியினுடைய **மின் தேக்குதிறன்** என வழங்குவர். C-ன் மதிப்பானது கடத்தியினுடைய பருமன், வடிவம், மற்றும் அதனைச் சூழ்ந்துள்ள ஊடகம் இவற்றைச் சார்ந்து அமையும். ஆகையால் கடத்தியின் மின்தேக்குதிறன் என்பதைப் பின்வருமாறு வரையறுக்கிறோம்:

ஒரு கடத்தியின் மின்னூட்டத்திற்கும் அதன் மின்னழுத்தத்திற்கும் உள்ள விகிதம் அக்கடத்தியின் மின் தேக்குதிறன் ஆகும்.

மின் தேக்குதிறனை அளக்கும் அலகு ஃபாரட் (farad) ஆகும்.

$$\text{ஒரு ஃபாரட்} = \frac{\text{ஒரு கூலூம்}}{\text{ஒரு வோல்ட்}}$$

என மேற்சொன்ன வரையறையிலிருந்து பெறப்படுகிறது. இந்த அலகு மிகப் பெரியதாகும்: எனவே நடைமுறையில் மைக்ரோஃபாரட் (microfarad : μF) மற்றும் பிகாஃபாரட் (picofarad : pF) என்ற சிறிய அலகுகள் பயன்படுத்தப்படுகின்றன.

1 மைக்ரோஃபாரட் = 1 μF = 10^{-6} ஃபாரட்

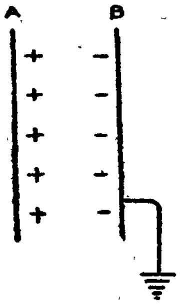
மற்றும் 1 பிகோஃபாரட் = 1 pF = 10^{-12} ஃபாரட் ஆகும்.

3.1 2. மின்தேக்கியின் தத்துவம்

மின்னூட்டம் பெற்ற கடத்தியின் மின்னழுத்தமானது, அதனருகில் உள்ள மற்ற மின்னூட்டம் பெற்ற கடத்திகளினால் பாதிக்கப்படும். நேர் மின்னூட்டம் பெற்ற கடத்தியினருகில் எதிர் மின்னூட்

டம் பெற்ற கடத்தியை வைத்தால் முன்னதன் மின்னழுத்தம் குறையும். எனவே அக்கடத்தியின் மின்னூட்டத்திற்கும் அதனுடைய மின்னழுத்தத்திற்கும் உள்ள விகிதம் கூடும்; அதாவது அக்கடத்தியின் மின் தேக்கு திறன் கூடும்.

ஒரு மின் கடத்தியின் மின் தேக்குதிறனை அதிகரிக்கச் செய்யும் சாதனம் **மின்தேக்கி** எனப்படும். இதனையே பின்வருமாறும் கூறலாம். மிக அதிகமான மின்னூட்டத்தைத் தேக்கி வைக்க உதவும் சாதனம் மின்தேக்கி ஆகும். இப்படிச் செல்வதால் மின்தேக்கியில் மின்னியல் நிலை ஆற்றல் தேக்கி வைககப்படுகிறது.



படம் 3 - 1

மின்தேக்கி

ஒரு மின்தேக்கியில் சாதாரணமாக இரண்டு கடத்திகள் உண்டு: ஒரு கடத்தி மின்னூட்டப்பட்டது ; மற்றது புவியிணைப்பு கொண்டது. படத்தில் A என்பது மின்காப்பு செய்யப்பட்டுள்ள கடத்தி ; அதற்கு நேர் மின்னூட்டம் Q தரப்படுகிறது. B என்பது புவியிணைப்பு உடைய கடத்தி ஆகும். B அதனிடத்தில் இல்லையெனக் கொள்வோம் ; அப்பொழுது A-யின் மின்னழுத்தம் V ஆகட்டும் ; எனவே A-யின் மின்தேக்கு திறன் $\frac{Q}{V}$ ஆகும். புவியிணைப்பு உடைய கடத்தி B-யை A-யினருகில் வைக்க, B-யின் மீது Q வுக்குச் சமமான எதிர்மின்னூட்டம் தூண்டப்படுகிறது. இதன் காரணமாக A-யின் நேர்மின்னழுத்தம் குறைகிறது. இதனைப்பின் வருமாறு விளங்கிக் கொள்ளலாம்:

ஈறிலாத் தொலைவிலிருந்து ஒரு நேர் மின்னூட்டத்தை A-க்குக் கொணர்வதாகக் கொள்வோம். இந்த மின்னூட்டத்தை A-யின் மீதுள்ள நேர் மின்னூட்டம் எதிர்க்கும். ஆனல் B-யின் மீதுள்ள எதிர்

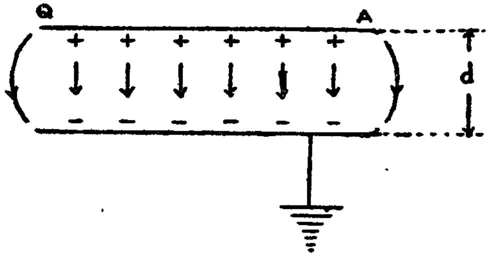
மின்னூட்டம் ஈர்க்கும். எனவே நிகரத்தில் விலக்கு விசை குறையும். ஆகையால் நேர் மின்னூட்டத்தைக் கொண்டுவரச் செய்யப்படும் வேலையின் அளவும் குறையும். ஆகையால் A-யின் மின்னழுத்தம் குறைகிறது.

நேர்மின்னூட்டம் பெற்ற கடத்தியும், புவியிணைப்புப் பெற்ற கடத்தியும் அருகருகே வைக்கப்பட அவை இரண்டுமாக ஒரு மின் தேக்கியாகச் செயல்படுகின்றன. அவற்றில் ஒரு கடத்தியின் மீதுள்ள மின்னூட்டம் Q, அக்கடத்திகளின் மின்னழுத்த வேறுபாடு $V_a - V_b$ எனில்,

$$\text{மின்தேக்கியினுடைய மின்தேக்கு திறன் } C = \frac{Q}{V_a - V_b}$$

ஆகும். V_a என்பது இறுதியாக A-யின் மீதுள்ள மின்னழுத்தம் ஆகும்; B-புவியிணைப்பு உடையதால் V_b சுழியாகும். மின் தேக்கியில் உள்ள நிகர மின்னூட்டம் சுழி என்பது கவனிக்கத் தக்கது. மின்தேக்கி பெற்றுள்ள மின்னூட்டம் என்பதன் பொருளாவது அதனில் உள்ள இரண்டிலொரு கடத்தியின் மீதான மின்னூட்டமே யாகும். படங்களில் மின்தேக்கியைக் குறிக்கும் சின்னம் —||— ஆகும் மின்தேக்கிகள் மின்னியல், எலக்ட்ரானியல் சுற்றுகள் பலவற்றில் குறிப்பாக பயன்படுகின்றன. ரேடியோக்களில் இயைவு செய்வதற்கு மின் தேக்கிகள் பயன்படுகின்றன என்பது குறிப்பிடத்தக்கது.

3.1.3. இணைத்தகடு மின்தேக்கி



படம் 3 - 2
இணைத்தகடு மின்தேக்கி

படம் 3-2-இல் காணப்படும் இணைத்தகடு மின்தேக்கியே சாதாரணமாகப் பயன்படுவது ஆகும். இதனில் இரண்டு கடத்தித் தகடுகள் இணையாக உள்ளன. இவை ஒவ்வொன்றின் பரப்பும் A ஆகும். இத்தகடுகளிடையே உள்ள தொலைவு 'd'. தகடுகளின் பரிமாணங்களுடன் ஒப்பிட்டால் d மிகச் சிறிய மதிப்புடையது.

தகடுகளுக்கு இடையே காற்று அல்லது வேறு மின் கடத்தாப் பொருள் நிறைந்திருக்கும். ஒரு தகட்டுக்கு புவியிணைப்பு (சுழி மின்னழுத்தம்) கொடுத்து மற்றொரு தகட்டுக்கு நேர் மின்னூட்டம் Q அளிக்கப்படுகிறது.

தகடுகளின் இடைத்தொலைவு சிறியதாதலால், அவற்றிடையே ஏற்படும் மின்புலம் சீரானது என்றும், தகடுகளின் மீதுள்ள மின்னூட்டமும் சீராகப் பரவியுள்ளது என்றும் கொள்ளலாம். தகடுகளின் இடையே உள்ள மின்னழுத்த வேறுபாடு

$$V = \frac{1}{\epsilon} \frac{Q \cdot d}{A}$$

எனப் பெறப்படும். தகடுகளின் இடையே நிறைந்துள்ள மின் கடத்தாப் பொருளின் சார்பிலா விடுதிறன் $\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r$ ஆகும். எனவே மின் தேக்கியின் மின்தேக்கு திறன்.

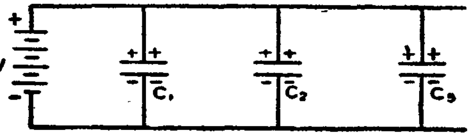
$$C = \frac{Q}{V} = \frac{\epsilon A}{d} = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r A}{d}$$

3. 1. 4. மின்தேக்கி இணைப்புகள்

பல மின்தேக்கிகளை இணைத்து, தேவையான அளவிற்கு மின் தேக்கு திறனைப் பெறலாம். மின்தேக்கிகளை இரு வகையில் இணைக்கலாம். இவ்விரு வகையாவன: (1) பக்க இணைப்பு மின்தேக்கிகள், (2) தொடரிணைப்பு மின்தேக்கிகள் ஆகும்.

பக்க இணைப்பில் மின்தேக்கிகள்

படம் 3-3-இல் C_1, C_2, C_3 என்பன பக்க இணைப்பில் உள்ள மூன்று மின்தேக்கிகள். இவை V என்ற மின்கலத்துடன் இணைக்கப்



படம் 3-3
பக்க இணைப்பில் மின்தேக்கிகள்

பட்டுள்ளன. (அல்லது V என்பது ஒரு மின்கல அடுக்காகவும் இருக்கலாம்.) ஒவ்வொரு மின்தேக்கியும் மின்னழுத்த வேறுபாடு V-யைத் தருகின்ற மின்கலத்துடன் இணைந்துள்ளது; ஆகையால்

அதனுடைய தகடுகளிடையே உள்ள மின்னழுத்த வேறுபாடும் V ஆகிறது. மின்கலத்தின் நேர் முனையுடன் இணைகின்ற தகடுகள் ஒவ்வொன்றும் நேர் மின்னூட்டம் பெறுகின்றன ; அதன் எதிர் முனையுடன் இணைகின்ற தகடுகள் எதிர் மின்னூட்டம் பெறுகின்றன. முதல் மின்தேக்கியின் தகடுகள் ஒவ்வொன்றின் மீதும் உள்ள மின்னூட்டம் Q_1 என்க. இதுபோல மற்ற இரண்டு மின்தேக்கிகளின் தகடுகள் பெறும் மின்னூட்டம் Q_2, Q_3 என்க. அப்பொழுது

$$Q_1 = C_1 V ; Q_2 = C_2 V \text{ மற்றும் } Q_3 = C_3 V \text{ ஆகும்.}$$

மூன்று மின்தேக்கிகளின் மீதுமுள்ள மொத்த மின்னூட்டம் Q எனில்

$$\begin{aligned} Q &= Q_1+Q_2+Q_3 \\ &= C_1 V+C_2 V+C_3 V \\ &= (C_1+C_2+C_3) V \end{aligned}$$

பக்க இணைப்பில் உள்ள மூன்று மின்தேக்கிகளின் தொகுமின்தேக்குதிறன்

C எனில்,

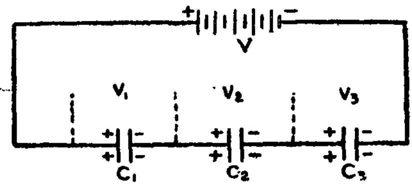
$$Q = CV.$$

$$\text{ஆனால்} \quad Q = (C_1+C_2+C_3)V$$

$$\therefore C = C_1+C_2+C_3.$$

பக்க இணைப்பில் எத்தனை மின்தேக்கிகளிருந்தாலும் அவற்றிற்கு மேலே பெறப்பட்ட முடிவு பொருந்தும். ஆகையால் பக்க இணைப்பில் உள்ள பலமின்தேக்குதிறன்களின் தொகுபயன் தனித்தனியான மின் தேக்குதிறன்களின் கூட்டுத்தொகையாகும்.

3. 1. 5. தொடரிணைப்பில் மின்தேக்கிகள்



படம் 3-4

தொடரிணைப்பில் மின்தேக்கிகள்

படம் 3-4-ல் மின்னழுத்த வேறுபாடு V உடைய மின்கலத்துடன் C_1, C_2, C_3 என்ற மூன்று மின்தேக்கிகள் தொடரிணைப்பில் உள்ளன.

மின்கலத்தின் நேர்மின் முனையுடன் இணைகின்ற ஒவ்வொரு தகடும் சமமான நேர்மின்னூட்டம் Q-வைப் பெறும் ; மின்கலத்தின் எதிர்மின் முனையுடன் இணையும் ஒவ்வொரு தகடும் சமமான எதிர்மின் னூட்டம் Q-வைப் பெறும். ஆனால் ஒவ்வொரு மின்தேக்கியின் தகடு களிடையே உள்ள மின்னழுத்த வேறுபாடு வெவ்வேறாக இருக்கும். C-ன் தகடுகளிடையே மின்னழுத்த வேறுபாடு V_1; C_2-விற்கு V_2, C_3-க்கு V_3 எனில்

$$V = V_1 + V_2 + V_3 \text{ ஆகும்.}$$

$$\text{மேலும் } V_1 = \frac{Q}{C_1};\ V_2 = \frac{Q}{C_2};\ V_3 = \frac{Q}{C_3}.$$

மூன்று மின்தேக்கிகளின் தொகு மின்தேக்கு திறன் C எனில்

$$C = \frac{Q}{V} \text{ ஆகும்.}$$

$$\text{அல்லது } \frac{Q}{C} = V = V_1 + V_2 + V_3.$$

$$= Q\left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}\right).$$

$$\therefore \quad \frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}.$$

தொடரிணைப்பில் எத்தனை மின்தேக்கிகள் இருந்தாலும் அவற் றிற்கு மேற்சொன்ன முடிவு பொருந்தும். ஆகையால் தொட ரிணைப்பில் உள்ள பல மின்தேக்கு திறன்களின் தொகு பயனின் தலைகீழியானது தனித்தனியான மின்தேக்கு திறன்களின் தலைகீழி களின் கூட்டுத்தொகையாகும்.

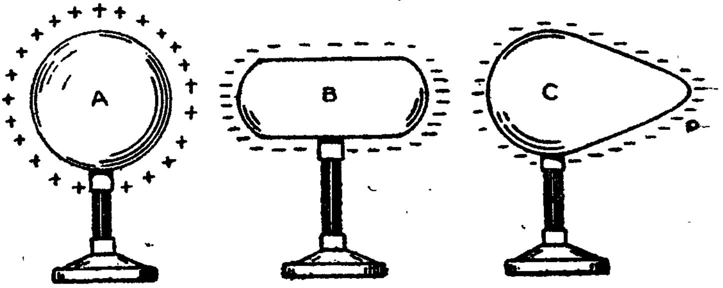
[பக்க இணைப்பில் அல்லது தொடரிணைப்பில் உள்ள மின் தடைகளின் தொகுபயன்களுக்கான வாய்பாடுகளுடன் மேலே பெறப்பட்ட வாய்பாடுகளை ஒப்பிட்டுக்கற்க].

3. 1. 6. கூர்முனைகளின் செயல்பாடு

R ஆரம் கொண்ட புறத் தொடர்பற்ற கோளம் ஒன்றின் மின் னழுத்தம் V எனில் அதன் மீதுள்ள மின்னூட்டம் $Q = 4\pi \in R V$ ஆகும். (அக்கோளத்தைச் சுற்றியுள்ள ஊடகத்தின் சார்பிலா விடுதிறன் $\in$ ஆகும்.) எனவே கோளத்தின் ஓரலகுப் பரப்பு

மீதுள்ள மின்னூட்டம்—அதாவது மின்னூட்ட அடர்த்தியை
$\sigma = \frac{Q}{4\pi R^2} = \frac{4\pi \epsilon R V}{4\pi R^2} = \frac{\epsilon V}{R}$ என்றெழுதலாம். அதாவது (கடத்தியின்மீது எல்லாப் புள்ளிகளிலும் மின்னழுத்தம் சமம் என்பதால்) மின்னூட்ட அடர்த்தியானது ஆரத்திற்கு எதிர் விகிதத்திலுள்ளது. எனவே, மின்னழுத்தம் மாறாதிருக்கும் பொழுது, வளைவு ஆரம் குறையக் குறைய மின்னூட்ட அடர்த்தி அதிகரிக்கும் (இதனையே பரப்பின் வளைவு அதிகமாகும் பொழுது மின்னூட்ட அடர்த்தி அதிகரிக்கும் என்றும் கூறலாம்.

கடத்தியின் வடிவம் ஒழுங்கற்றதாக இருப்பினும்—அதாவது அதன் வளைவு புள்ளிக்குப் புள்ளி மாறினும்—மேற்கொண்ட முடிவு பொருந்தும். ஆகையால், ஒழுங்கற்ற வடிவமுடைய கடத்தியின் மீது மின்னழுத்தம் ஒவ்வொரு புள்ளியிலும் சமமாக இருந்தாலும், புள்ளிக்குப் புள்ளி அதன்மீது மின்னூட்ட அடர்த்தி மாறும்.



படம் 3-5
வளைவும் மின்னூட்ட அடர்த்தியும்

படம் 3-5-ல் P போன்ற கூர்முனைகளின் வளைவு ஆரம் குறைவானது. ஆகையால் கூர்முனைகளில் மின்னூட்டம் நெருக்கமாக இருக்கும். அதாவது மின்னூட்ட அடர்த்தி உயர்வாகும்.

ஒரு புள்ளிக்கு அருகில் உள்ள மின்னூட்ட அடர்த்திக்கு நேர் விகிதத்தில் அப்புள்ளியில் மின்புலச் செறிவு அமைகிறது : எனவே கூர்முனைகளுக்கு அருகில் மிகச் செறிவான மின்புலத்தைத் தோற்றுவிக்க இயலும் : இதற்குத் தேவையான மின்னழுத்தம் உயர் மதிப்பு உடையதல்ல.

கடத்தியின் கூர்முனைகளின் அருகில் உள்ள மின்புலம், அதனைச் சூழும் காற்று மூலக் கூறுகளை அயனியாக்குமளவிற்கு

வலிமையுடையதாகும். கடத்தியின் மீதுள்ள மின்னூட்டமும், தோற்றுவிக்கப்படும் அயனிகளின் மின்னூட்டமும் ஒரே குறியுடையன. எனவே அயனிகள் எதிர்த்து விலக்கப்படுகின்றன. இதனால் மின்காற்று (Electric Wind) வீசும். இதன் காரணமாக கடத்தியின் மீதுள்ள மின்னூட்டம் அக்காற்றோடு போகும்; ஆகையால் கடத்தி மின்னிறக்கம் பெறும். இதனையே ஒளிவட்ட மின்னிறக்கம் (Corona Discharge) என்பர். மின்காற்றின் பாதையிலுள்ள பொருள் சிறிது மின்னூட்டம் பெறும்.

உயர் மின்னழுத்தக் கருவிகள் அமைப்பதில், அதன் எல்லாப் பகுதிகளும் சிறிதளவு வளைந்திருக்குமாறு கவனம் செலுத்தப்படுகின்றது; கூர்முனைகளும் கூரான விளிம்புகளும் தவிர்க்கப்படுகின்றன. அவ்வாறில்லையெனில் ஒளிவட்ட மின்னிறக்கம் ஏற்பட்டு மின்னாற்றல் கணிசமாக வீணாகிவிடும்.

3. 1. 7. இடிதாங்கிகள்

கட்டடங்களின்மீது இடிவிழாமல் பாதுகாக்கப் பயன்படுவன இடிதாங்கிகள் ஆகும். கூர்மையான முனைகளையுடைய உலோகத் தண்டு ஒன்று கட்டடத்தின் உச்சியில் பொருத்தப்படுகிறது. அத்தண்டின் மறுமுனையானது, கட்டடத்திற்கு வெளியே பூமியில் ஆழப் புதைந்த செப்புத் தகட்டுடன் மின்னிணைப்பு பெறுகிறது. மின்னூட்டமுடைய மேகம் கட்டடத்திற்கு மேலே பரவும்பொழுது, இடிதாங்கியின் மேல்முனைகளில் மின்னூட்டம் தூண்டப்படுகிறது. இந்த மின்னூட்டமும், மேகத்திலுள்ள மின்னூட்டமும் எதிரெதிரான குறியுடையன. இடிதாங்கியின் முனைகள் கூர்மையாக இருப்பதால் அதனில் தோன்றிய மின்னூட்டங்கள் வானில் கசிந்து மேகத்திலுள்ள மின்னூட்டங்களை சமனப்படுத்துகின்றன. எனவே மேகத்திலுள்ள மின்னூட்டத்திற்கும் கட்டடத்தில் தூண்டப்படும் மின்னூட்டத்திற்கும் இடையே வலிமையான மின்னிறக்கம் ஏற்பட வழியில்லாமல் போகிறது.

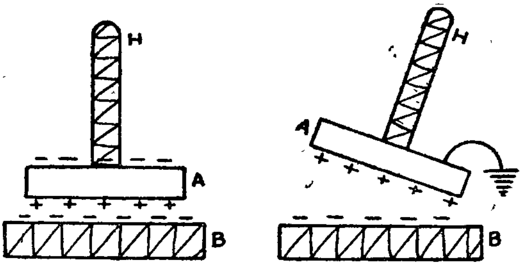
3. 1. 8. நிலைமின்னியல் இயந்திரங்கள்

ஒரு கடத்தியின்மீது மீப்பெருமளவிற்கு மின்னூட்டத்தைத் தோற்றுவிக்கும் கருவிகள் நிலை மின்னியல் இயந்திரங்கள் ஆகும். மின்னூட்டங்களைப் புதியனவாக உண்டாக்க இயலாது. எனவே நிலை மின்னியல் இயந்திரங்கள், முன்னரே சமனப்பட்டுள்ள இருவகை மின்னூட்டங்களைப் பிரிக்கின்றன. தூண்டு மின் இயந்திரம் (induction machine) இவ்வாறே செயல்படுகிறது.

3. 1. 9. எலக்ட்ரோஃபோரஸ்

எலக்ட்ரோஃபோரஸ் ஒரு எளிமையான தூண்டு மின் இயந்திரம் ஆகும். மின் தூண்டலால் ஒரு தடவையில் தோற்றுவிக்கக் கூடிய

பெருமமின்னூட்டம் அதனைத் தூண்டுகின்ற மின்னூட்டத்திற்குச் சமமாகும். ஏறத்தாழ இந்த அளவிற்கு எலக்ட்ரோஃபோரஸ் செயல் திறமை உடையது. எலக்ட்ரோஃபோரசில் A என்பது ஒரு உலோகத் தகடு. இதற்கு மின்காப்புக் கைப்பிடி H ஆகும். B என்பது



படம் 3-6
எலக்ட்ரோஃபோரஸ்

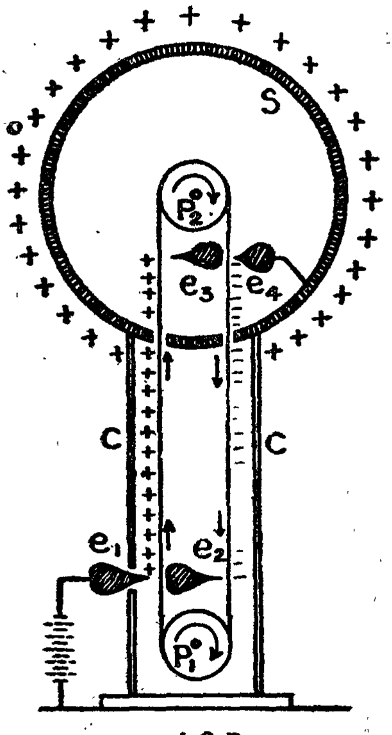
மின்கடத்தாத் தகடு ஆகும். Aயை Bயின்மீது பொருத்தலாம் B எபொனைட்டால் ஆனது என்க. இதனைக் கம்பளியால் தேய்க்க B-யின்மீது எதிர் மின்னூட்டம் உண்டாகும். A மற்றும் B சமதளங்கள் உடையன அல்ல ; ஆதலால், Aயை Bயின் மீது வைக்கும் பொழுது ஒரு சிறு புள்ளிகளிலேயே அவை இரண்டும் தொட்டுக் கொள்ளும். எனவே A-யின் கீழ்தளத்தில் நேர் மின்னூட்டங்களும், அதன் மேல் தளத்தில் எதிர் மின்னூட்டங்களும் தோன்றுகின்றன. தற்பொழுது A-க்குப் புவியிணைப்பு தந்தால் (கையால் தொட்டாலே போதும்) எதிர் மின்னூட்டங்கள் புவியை அடையும். Bயிலிருந்து Aயைப் பிரித்தெடுக்க, Bயின் மீதுள்ள எதிர் மின்னூட்டத்திற்குச் சமமான அளவு நேர் மின்னூட்டம் Aயின் மீதிருக்கும். மின்காப்புடைய மற்றொரு பொருள் C-யை Aயால் தொட்டால் Aயின் மீதுள்ள நேர் மின்னூட்டம் C-க்கு மாற்றப்படும். B-யின் மீதுள்ள எதிர் மினனூட்டத்தின் அளவு பாதிக்கப்படவில்லை என்பது கவனிக்கத் தக்கது. இதே செய்முறையில் பலதடவைகள் செய்து அதிகமான அளவிற்கு நேர் மின்னூட்டத்தை C-மீது சேமிக்கலாம் என்பது தெளிவு.

இந்த செய்முறையில் மின்னூட்டங்கள் உண்டாக்கப்படவில்லை ; ஆனால் பிரிக்கப்படுகின்றன என்பதை அறிய வேண்டும். இப்படிப் பிரிப்பதற்கு வேலை செய்யப்படவேண்டும். அதாவது Aயிலும் Bயிலும் உள்ள எதிரெதிரான மின்னூட்டங்களுக்கிடையே

உள்ள ஈர்ப்பு விசைக்கு எதிராகச் செய்யப்படும் வேலையே மின்னூட்டங்களைப் பிரிக்கிறது.

3. 1. 10. வான் டி கிராஃப் இயற்றி (Van de Graaf Generator)

படம் 3-7. காண்க. மின்காப்புத் தூண் CC மீது S என்ற உலோகத்தாலான பெரிய கோளம் தாங்கப் படுகிறது. தூண் CC உள்ளீடற்றது. பட்டு அல்லது வேறு மின்காப்புப் பொருளாலான பட்டையொன்று தூணின் உள்ளே மேலும் கீழுமாக சுற்றிவருகிறது.



படம் 3-7
வான் டி கிராஃப் இயற்றி

இது சுற்றிவர வசதியாக P_1, P_2 என்ற இரண்டு கப்பிகள் உள்ளன. கீழே உள்ள கப்பி P_1-ஐ ஒரு மோட்டார் சுழற்றுகிறது. நான்கு கூர்மையான மின்வாய்கள் e_1, e_2, e_3, e_4 உள்ளன; e_4 ஆனது S-உடன் இணைந்துள்ளது. ஒரு மின்கலத்துடன் இணைவதால் e_1 சிறிது நேர்மின்னூட்டம் அளிக்கப்படுகிறது. எனவே ஒளிவட்ட

மின்னிறக்கம் காரணமாக, மேலேறும் பட்டை நேர்மின்னூட்டம் பெறுகிறது. இப்பட்டை e_3-யை நெருங்கும்பொழுது மீண்டும் ஒளி வட்ட மின்னிறக்கம் நிகழ்கிறது. எனவே e_3 ஆனது நேர் மின்னூட்டம் பெறுகிறது. e_3-க்கு எதிரேயுள்ள e_4 தற்பொழுது மின் தூண்டலால் எதிர் மின்னூட்டம் பெறுகிறது. எனவே S நேர் மின்னூட்டம் பெறுகிறது. e_4-ன் மீதுள்ள எதிர் மின்னூட்டம், ஒளிவட்ட மின்னிறக்கம் காரணமாக, இறங்கிவரும் பட்டைக்கு மாறிவிடுகிறது. இப்படி இறங்கி வரும் மின்னூட்டத்தில் ஒரு பகுதியை e_2 கவர்ந்து கொள்கிறது; எனவே பட்டையானது பெறுகின்ற நேர் மின்னூட்டம் அதிகரிக்கின்றது. பட்டையின்மீது மிச்சமுள்ள எதிர் மின்னூட்டம் புவியிணைப்பு கொண்ட கப்பி P, வழியாகப் புவியை அடைகிறது. எனவே பட்டைமீது தற்பொழுது மின்னூட்டம் இல்லை; மீண்டும் சுற்றிவர பட்டை தயாராக உள்ளது. அது e_1க்கு எதிரே வரும்பொழுது மீண்டும் சிறிது நேர் மின்னூட்டப்படுகின்றது.

பட்டையானது மீண்டும் மீண்டும் சுற்றிவரும்பொழுது மேலும் மேலும் நேர்மின்னூட்டங்கள் S மீது ஏற்றப்படுகின்றன. கோளத்தின் ஆரம் மிக அதிகமாகவும், அதன் புறப்பரப்பு வழவழப்பாகவும் உள்ளதால், ஒளிவட்ட மின்னிறக்கம் காரணமாக ஏற்படக்கூடிய மின்னூட்ட இழப்பு தவிர்க்கப்படுகிறது. எனவே பெருமளவிற்கு மின்னூட்டங்கள் கோளத்தின்மீது சேமிக்கப்பட இயல்கிறது.

பம்பாயிலுள்ள பாபா அணுவியல் ஆராய்ச்சி நிலையத்தில் வான் டி கிராஃப் இயற்றிகள் பயன்படுத்தப்படுகின்றன.

3.2. மின்னோட்டவியல்

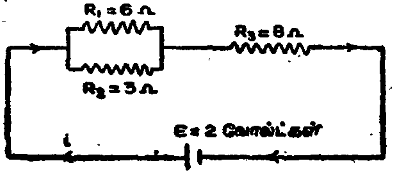
3. 2. 1. நேர்மின்னோட்டச் சுற்றுகள் (D. C. Circuits)

ஓம் விதியை நினைவு கூர்க. மாறாத வெப்பநிலையில் உள்ள மின்கடத்தி வழியாகப் பாயும் மின்னோட்டமானது அதன் முனைகளிடையே உள்ள மின்னழுத்த வேறுபாட்டிற்கு நேர்விகிதத்தில் உள்ளது; இதுவே ஓம் விதி. இந்த நேர்விகித மாறிலியே கடத்தியின் மின்தடை ஆகும்.

$$\frac{\text{மின்னழுத்த வேறுபாடு}}{\text{மின்னோட்டம்}} = \text{மின் தடை (ஒரு மாறிலி)}$$

ஒரு மின்கலமும், ஒரு மின்தடையும் தொடரிணைப்பில் உள்ள சுற்றில் பாயும் மின்னோட்டத்தை ஓம் விதி கொண்டு கணக்கிடலாம். பல மின் தடைகள் பக்க இணைப்பில் அல்லது தொடரிணைப்பில் அல்லது தொடர்—பக்க இணைப்பில் இருந்தாலும் அவற்றின் தொகு

மின் தடையைக் கணக்கிட்டு அச்சுற்று வழியாகப் பாயும் மின்னோட்டத்தைக் கணக்கிட ஓம் விதி உதவும். எடுத்துக்காட்டாக படம் 3-8ல்



படம் 3-8

ஓம் விதியின் அடிப்படையில் மின்னோட்டம் கணக்கிடல்

உள்ள சுற்றினைக் கருதுக. R_1-ம், R_2-ம் பக்க இணைப்பில் உள்ளன. இவற்றின் தொகு மின்தடை R_P யானது பின்வருமாறு பெறப்படுகிறது:

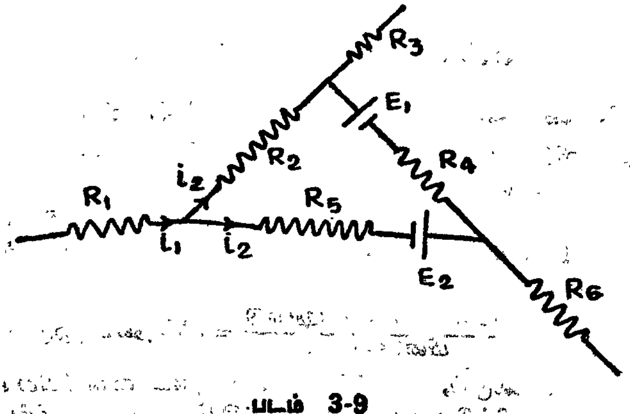
$$\frac{1}{R_P} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

அல்லது

$$R_P = \frac{R_1 R_2}{R_1+R_2} = \frac{6\times 3}{6+3} = 2 \text{ ஓம்.}$$

R_P-யும் R_3-ம் தொடரிணைப்பில் உள்ளன. எனவே, சுற்றில் உள்ள மொத்த தொகுமின்தடை $R = R_P + R_3 = 2 + 8 = 10$ ஓம்.

$$\text{மின்னோட்டம் } i = \frac{E}{R} = \frac{2}{10} = 0{\cdot}2 \text{ ஆம்பியர்.}$$



படம் 3-9

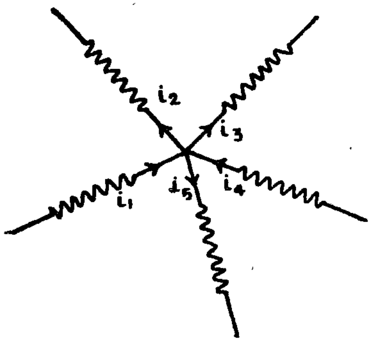
வலை மின் சுற்றுகள்

எடுத்துக்காட்டில் கண்டது போல், எல்லா மின்னோட்டச் சுற்றுகளும் எளிமையானவை அல்ல. படம் 3-9-ல் காண்பதுபோல

வலை போல் பின்னிய பல சுற்றுக்களைப் பல சந்தர்ப்பங்களில் சந்திக்க வேண்டியுள்ளது. ஒரே புள்ளியில் (ஒரு சந்திப்பில்) மூன்றுக்கும் மேற்பட்ட மின்தடைகள் சந்திக்கின்றன; ஒரு புள்ளியிலிருந்து பல கிளைகளில் மின்னோட்டம் பாய்கிறது. மேலும் மின் சுற்றுவலை (network) யொன்றில் மின் இயக்குவிசை மூலங்கள் பல இருக்கலாம். இப்படிச் சிக்கலான சுற்றுகளில் உள்ள மின்தடைகளை, தொடரிணைப்பில் உள்ளவை, பக்க இணைப்பில் உள்ளவை எனப் பாகுபடுத்த இயலாது. ஆனால் எந்த ஒரு கிளையிலும் பாய்கின்ற மின்னோட்டத்தைக் கணக்கிட இயலும்; இதற்கு **கிர்க்காஃப் விதிகள்** (Kirchoff's laws) உதவுகின்றன.

3.2.2 கிர்க்காஃப் விதிகள்

(i) **ஒரு சுற்றுவலையில் எந்தவொரு சந்திப்பிலும் சந்திக்கின்ற மின்னோட்டங்களின் குறியியல் தொகை சுழியாகும்.** சந்திப்பை நோக்கிப் பாயும் மின்னோட்டங்கள் நேர்க்குறியுடையன என்றும் சந்திப்பதிலிருந்து வெளியே பாயும் மின்னோட்டங்கள் எதிர்க்குறியுடையன என்றும் கொள்வோம். படம் 3-10-ல்



படம் 3 - 10
கிர்க்காஃப் விதிகள் — முதல் விதி விளக்கம்

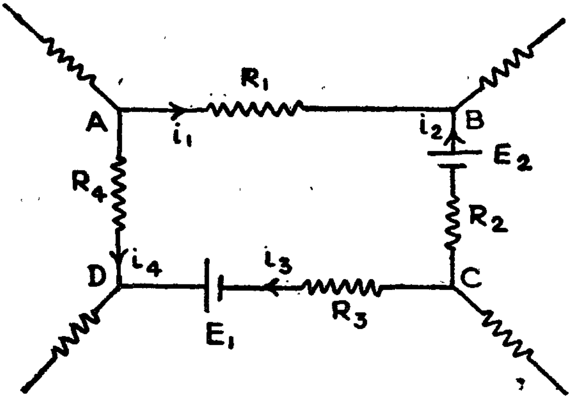
$$i_1 - i_2 - i_3 + i_4 - i_5 = 0.$$

இது கிர்க்காஃபின் முதல் விதி. மின்சுற்றின் எந்தப் புள்ளியிலும் மின்னூட்டங்கள் சேமிக்க இயலாது என்ற தத்துவத்தை அடிப்படையாகக் கொண்டதே முதல் விதி.

(2) சுற்றுவலையில் உள்ள மூடப்பட்ட பாதை ஒன்றில் உள்ள மின்தடைகளின் முனைகளுக்கிடையே உள்ள மின்னழுத்த வேறுபாடுகளின் குறியியல் கூட்டுத் தொகையானது அந்த மூடப்பட்ட பாதையில் செயல்படும் மின்னியக்கு விசைகளின் குறியியல் கூட்டுத் தொகைக்குச் சமமாகும்.

ஒரு மூடப்பட்ட சுற்றில் வலஞ்சுழியாகப் பாயும் மின்னோட்டங்கள் நேர்க்குறியுடையன என்றும் இடஞ்சுழியாகப் பாயும் மின்னோட்டங்கள் எதிர்க்குறியுடையன என்றும் கொள்வோம். மேலும் மின்னோட்டத்தை வலஞ்சுழியாகச் செலுத்தும் மின்னியக்கு விசை நேர்க்-

குறியுடையது; மின்னோட்டத்தை இடஞ்சுழியாகச் செலுத்தும் மின்னியக்கு விசை எதிர்க்குறியுடையது எனக் கொள்வோம்.



படம் 3 - 11

கிர்க்காஃப் விதி - இரண்டாம் விதி - விளக்கம்

படம் 3 - 11 ல் ABCD என்ற மூடப்பட்ட பாதையில்,

$$i_1 R_1 - i_2 R_2 + i_3 R_3 - i_4 R_4 = E_1 - E_2$$

3. 2. 3. விட்ஸ்டோன் சமனச்சுற்று (Wheatstone network)

P, Q, R, S, என்பன நான்கு மின்தடைகள்; இவை படம் 3-12-ல். காண்பதுபோல் இணைக்கப்பட்டுள்ளன. B மற்றும் D என்ற இரண்டு புள்ளிகளுக்கிடையே ஒரு கால்வனாமீட்டர் இணைக்கப்பட்டுள்ளது; கால்வனாமீட்டரின் மின்தடை G ஆக இருக்கட்டும் A மற்றும், C என்ற புள்ளிகளுக்கிடையே ஒரு மின்கலம் E இணைக்கப் படுகிறது. இந்த சுற்றின் பலகிளைகளிலும், படத்தில் காண்பது போல, மின்னோட்டங்கள் பாய்வதாகக் கொள்வோம்.

சந்திப்பு B-ல் கிர்க்காஃபின் முதல் விதியின் படி,

$$i_1 - i_3 - i_g = 0 \qquad (1)$$

மற்றும் சந்திப்பு D-ல்,

$$i_2 + i_g - i_4 = 0 \qquad (2)$$

கால்வனாமீட்டர் வழியாகப் பாயும் மின்னோட்டம் சுழியாகும் வகையில் மின்தடைகள் சீரமைக்கப் படுவதாகக் கொள்வோம்.

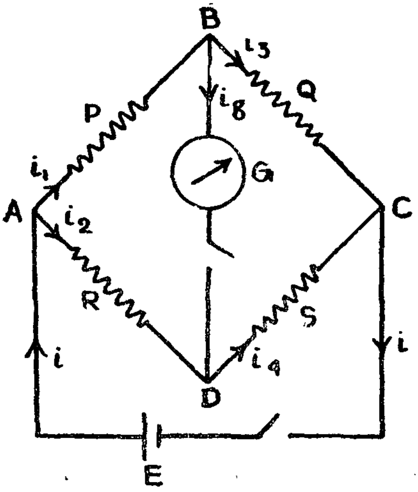
அதாவது, $i_g = 0$

எனவே சமன்பாடுகள் (1) மற்றும் (2) லிருந்து,

$$i_1 - i_3 = 0$$

மற்றும் $i_2 - i_4 = 0$

அல்லது $i_1 = i_3$ மற்றும் $i_2 = i_4$.



படம் 3-12
வீட்ஸ்டோன் சுற்று

மூடப்பட்ட பாதை ABD - யைக் கவனித்தால்,

$$i_1P + i_gG - i_2R = 0 \qquad (3)$$

அதேபோல, மூடப்பட்ட பாதை BCD - யைக் கவனித்தால்

$$i_3Q - i_4S - i_gG = 0 \qquad (4)$$

ஆனால் $i_g = 0$; எனவே சமன்பாடுகள் (3) மற்றும் (4) லிருந்து

$$i_1P - i_2R = 0$$

மற்றும் $i_3Q - i_4S = 0$

ஆகையால் $i_1P = i_2R$

மற்றும் $i_3Q = i_4S$

ஆனால் $i_1 = i_3$ மற்றும் $i_2 = i_4$

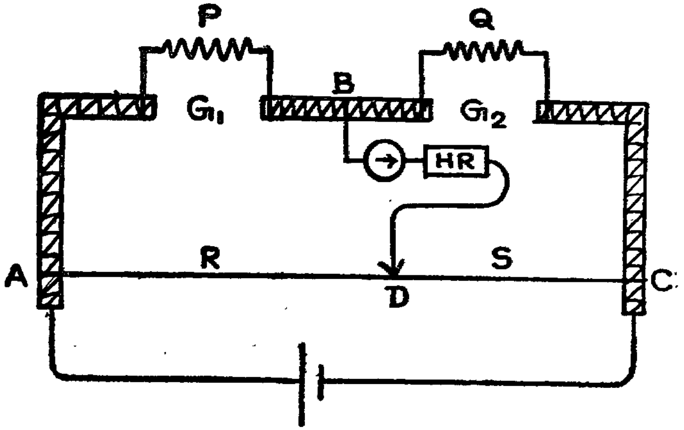
ஆகையால் $\frac{P}{Q} = \frac{R}{S}$

கால்வனாமீட்டரையும், மின்கலத்தையும் இடப்பரிமாற்றம் செய்தாலும் மேற்சொன்ன முடிவே பெறப்படும்.

வீட்ஸ்டோன் சமனச்சுற்று ஆனது நடைமுறையில் மீட்டர் சமனச் சுற்று வடிவில் பயன்படுகிறது.

3. 2. 4. மீட்டர் சமனச்சுற்று (Metre Bridge)

சரியாக ஒரு மீட்டர் நீளமும், சீரான தடிப்பும் உடைய மாங்கனின் கம்பியான் AC விறைப்பாகவும், நேராகவும் ஒரு மரப்பலகைமீது



படம் 3 - 13
மீட்டர் சமனச்சுற்று

பொருத்தப்பட்டுள்ளது. இக்கம்பியின் முனைகள் இரண்டு, தடித்த செப்புப் பட்டைகளுடன் பற்றவைக்கப்பட்டுள்ளன. இவ்விரு பட்டைகளுக்கிடையில் மூன்றாவதாக ஒரு செப்புப் பட்டையும் உள்ளது; செப்புப் பட்டைகளின் மின்தடை புறக்கணிக்கத் தக்கது. மூன்று செப்புப் பட்டைகளுக்கிடையில் இரண்டு இடைவெளிகள் G_1, G_2 உள்ளன. மின்னிணைப்பு தருவதற்கு வசதியாக பட்டை

களில் திருகாணிகள் உணடு. கம்பியில் எந்தப் புள்ளியிலும் இணைப்பு பெற ஏதுவாக நகரும் தொடுகோல் (படத்தில் அம்புக் குறியாகக் காட்டப்பட்டுள்ளது) ஒன்று உண்டு. கம்பி AC-க்கு இணையாக அதனருகில் ஒரு மீட்டர்கோல் பொருத்தப்பட்டுள்ளது.

இடைவெளிகள் G_1, G_2-ல் முறையே P,Q என்ற மின் தடைகள் இணைக்கப்படுகின்றன. திருகாணி *B*-யிலிருந்து கால்வனாமீட்டர், உயர் மின்தடை வழியாகத் தொடுகோலுடன் இணைப்பு தரப்படு கிறது. கம்பியின் இரு முனைகளுக்கிடையே லெக்லாஞ்சி மின்கலம் இணைக்கப்படும். தொடுகோலானது AC-ல் ஏதாவது ஒரு புள்ளி D-ல் தொடட்டும். கம்பியின் AD, DC என்ற இருபகுதிகள் வீட்ஸ் டோன் சுற்றின் R,S என்ற மின்தடைகளுக்குப் பதிலாக அமைந் துள்ளமை கவனத்திற்குரியது.

கம்பி AC மீது வெவ்வேறு புள்ளிகளில் தொடுகோலால் தொட்டுப்பார்த்து, கால்வனா மீட்டரில் மின்னோட்டம் சுழியாகுமாறு D என்ற புள்ளியைத் தேர்ந்தெடுக்க. அப்போது $\frac{P}{Q} = \frac{R}{S}$

கம்பியின் ஒரு செமீ நீளத்திற்கு மின்தடை ρ என்று கொள்வோம்; அப்போது $R = \rho.AD$ மற்றும் $S = \rho DC$ எனப் பெறப்படும். எனவே

$$\frac{P}{Q} = \frac{R}{S} = \frac{\rho.\ AD}{\rho.\ DC} = \frac{AD}{DC}$$

$AD = L_1$ மீ., $DC = L_2$ மீ. என எழுதினால்

$$\frac{P}{Q} = \frac{L_1}{L_2} \text{ ஆகும்.}$$

P என்பது நிர்ணயிக்க வேண்டிய மின்தடையாகவும், Q என்பது ஒரு படித்தரமான, மதிப்பு தெரிந்து மின்தடையாகவும் கொள்வோம். எனவே

$$P = Q\frac{L_1}{L_2} \text{ ஆகும்.}$$

தடித்த செப்புப்பட்டைகளின் மின் தடைகள் புறக்ணிக்கத்தக்க தாயினும், கம்பியின் முனைகள் பற்றாசு வைக்கப்பட்டாலும், மேலே பெறப்படும் $\frac{L_1}{L_2}$ க்கு முனைத்திருத்தங்கள் தேவை. இதனைத் தவிர்க்க பின்வருமாறு ஒரு யுக்தியைக் கையாளலாம்: *P*-யையும் Q-வையும் இடப்பரிமாற்றம் செய்து, மீண்டும் $\frac{L_1}{L_2}$ மதிப்புகளைக் கண்டுபிடித்து $\frac{P}{Q}$ க்குச் சராசரி மதிப்பு காணலாம். இப்படிச்

செய்கையில் சரியீட்டு புள்ளி D-யானது AC-ன் மையப் புள்ளிக்கு அருகாமையில் அமைவது நன்மை தரும் ; அதாவது P-ம் Q-ம் ஏறத்தாழச் சமமாக இருத்தல் வேண்டும்.

3. 2. 5. மின்தடை வெப்பநிலை எண்

தூய உலோகக் கடத்திகளின் வெப்பநிலை அதிகரிக்கும்பொழுது அவற்றின் மின்தடையும் அதிகரிக்கிறது. வெப்பநிலை 0° C-யில் மின்தடை R_0 என்றும், வெப்பநிலை t° யில் மின்தடை R_t என்றும் கொள்வோம். சிறிதளவே வெப்பநிலை மாறும்பொழுது

$$R_t = R_0 (1+\alpha t)$$

என எழுதலாம். இங்கு α-வை மின்தடை வெப்பநிலை எண் என்கிறோம். இதனைப் பின்வருமாறு வரையறுக்கலாம்:

ஒரு உலோகத்தின் **மின்தடை வெப்பநிலைஎண்** (Temperature Coefficient of Resistance) என்பது ஒருடிகிரி வெப்பநிலை உயர்வால் அதில் ஏற்படும் மின்தடை உயர்வுக்கும் வெப்பநிலை 0°C-ல் அதன் மின்தடைக்கும் உள்ள விகிதமாகும்.

பொதுவாகவே கலப்பு உலோகங்களின் மின்தடை வெப்பநிலை எண் மிகக்குறைவு. மங்கானின் என்ற கலப்பு உலோகத்தின் மின் தடை வெப்பநிலை எண் மிக மிகக் குறைவு ; சுழி என்றே கூறலாம். எனவேதான் படித்தர மின்தடைகள் செய்ய மாங்கனின் பயன் படுத்தப்படுகிறது.

எபொனைட் போன்ற மின்கடத்தாப் பொருள்களுடையவும் மற்றும் கார்பனுடையவும் மின்தடைகள் வெப்பநிலை உயரும் பொழுது குறைகின்றன. எனவே இவற்றின் மின்தடைவெப்ப நிலை எண் எதிர்க்குறி உடையது.

3. 2. 6. மின்தடை வெப்பநிலை எண்ணை நிர்ணயித்தல்

மீட்டர் சமனச் சுற்றினுதவியால் ஒரு மின்தடையத்தின் (resistor) மின்தடைகளை இரு வேறு வெப்பநிலைகளில் நிர்ணயிக்கலாம். இந்த மதிப்புகளிலிருந்து மின்தடை வெப்பநிலை எண்ணைக் கணக்கிடலாம்.

நீர் புகாக் கலத்தினுள் மின்தடையத்தை வைத்து இக்கலத்தை ஒரு நீர்த்தொட்டியினுள் வைக்க. இத்தொட்டியின் வெப்பநிலையை மாற்ற இயலும ; தொட்டியின் குறிப்பிட்ட வெப்பநிலையைக் கணிசமான நேரம் நிலையுறுத்தி, மின்தடையத்தின் மதிப்பு நிலையுறச் செய்யவேண்டும். இப்படிச் செய்த பின்னர் அந்த வெப்பநிலையில் மின்தடைய மதிப்பை நிர்ணயிக்கலாம். இது போன்று வெவ்வேறு வெப்பநிலைகளில் மின்தடைய மதிப்புகளை அளக்கலாம்.

t_1°C மற்றும் t_2°C வெப்பநிலைகளில் மின்தடைகள் முறையே R_1 மற்றும் R_2 எனில்

$$R_1 = R_0\,(1+\alpha t_1)$$

மற்றும்

$$R_2 = R_0\,(1+\alpha t_2)$$

ஆகையால்

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{1+\alpha t_1}{1+\alpha t_2}$$

அல்லது

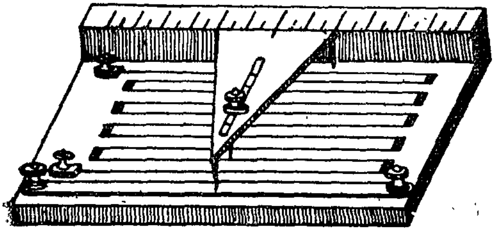
$$\alpha = \frac{R_2 - R_1}{R_1 t_2 - R_2 t_1} \text{ ஆகும்.}$$

வெப்பநிலைகள் 0°Cயிலும் 100°Cயிலும் மின்தடைகள் R_0 மற்றும் R_{100} என்பன அளக்கப்பட்டால்,

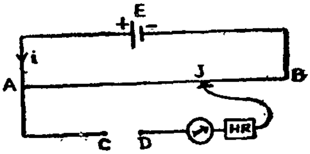
$$\alpha = \frac{R_{100} - R_0}{100 R_0} \text{ ஆகும்.}$$

3. 2. 7. மின்னழுத்தமானி (Potentiometer)

மின்னழுத்த வேறுபாடுகளை ஒப்பிடுவதற்கான அமைப்பு மின்னழுத்தமானி ஆகும். இதனையே மின்தடைகளை அளக்கவும், மின்னோட்டங்களை அளக்கவும் ஏற்ற வகையில் மாற்றி அமைக்க



படம் 3-14
மின்னழுத்தமானி



படம் 3 - 15
மின்னழுத்தமானி - மின்சுற்று

லாம். மின்னழுத்தமானியைப் பயன்படுத்துவதால் மிகத் துல்லியமாக அளக்கலாம். எனவே, நேர் மின்னோட்டச் சுற்றுகளில் அளவீடுகள் செய்ய இக்கருவி மிகுதியாகப் பயன்படுகிறது.

ஒரு மீட்டர் நீளமும் சீரான தடிப்பும் உடைய பத்து மாங்கனின் கம்பிகள் விறைப்பாகவும், ஒன்றுக்கொன்று இணையாகவும் ஒரு மரப்பலகை மீது பொருத்தப்பட்டுள்ளன. அடுத்தடுத்த இரு கம்பிகளின் அருகருகான முனைகள் சிறிய, தடித்த செப்புப் பட்டையுடன் இணைகின்றன. இதனால் பத்து கம்பிகளும் தொடர் இணைப்பு பெறுகின்றன. எனவே பத்து மீட்டர் நீளமுள்ள கம்பி பத்து சம

மடங்காகப் பெறப்படுகிறது. முதல் கம்பியின் முதல் முனையும் பத்தாவது கம்பியின் கடைசி முனையும் திருகாணிகளுடன் இணைகின்றன.

தேவையான கம்பியின் மீது தேவையான புள்ளியில் இணைப்பு தரும் வகையில் ஒரு நகரும் இணைப்பு (sliding jockey) உள்ளது. முதல் கம்பிக்கு இணையாக ஒரு மீட்டர் கோலும், பத்தாவது கம்பிக்கு இணையாக ஒரு நீண்ட செப்புப் பட்டையும் உள்ளன. நகரும் இணைப்பானது செப்புப்பட்டையை எப்பொழுதும் தொட்டுக் கொண்டிருக்கும்.

மின்னழுத்தமானியின் தத்துவம் படம் 3-15-ல் காணப் படுகிறது. மின்கலம் E-லிருந்து மாறா மின்னோட்டம் i ஆனது AB என்ற சீரான கம்பி வழியே பாய்கிறது. அளக்கப்பட வேண்டிய மின்னழுத்தம் V-யின் நேர்முனையை C-யுடனும், அதன் எதிர் முனையை D-யுடனும் இணைக்கிறோம். இதனால் V-ன் நேர்முனை யானது A-யின் வழியாக மின்கலத்தின் நேர்முனையுடன் இணை கிறது. V-ன் எதிர்முனை கால்வனாமீட்டர், உயர் மின்தடை வழியாக நகரும் இணைப்புடன் இணைகிறது. நகரும் இணைப்பானது கம்பி AB-யின் எந்தப்புள்ளி J-ல் வேண்டுமானாலும் இணைப்பு தரும். A-க்கும் J-க்கும் இடையே உள்ள மின்னழுத்தம், அளக்கப்படுகின்ற மின்னழுத்தமான V-யை எதிர்க்கிறது. இவை இரண்டும் சமமாக இருந்தால் ACDJ என்ற சுற்றில் மின்னோட்டம் ஏற்படாது. எனவே கால்வனாமீட்டரில் மின்னோட்டம் சுழியாகுமாறு நகரும் இணைப்பை நகர்த்தி J என்ற புள்ளியைக் கண்டுபிடிக்க வேண்டும். அப்பொழுது A-க்கும் J-க்கும் உள்ள மின்னழுத்தமானது V-க்குச் சமமாகும்.

AJ-யை l என்க ; கம்பியின் ஒரு செ மீ. நீளத்திற்கு மின்தடை r என்க ;

எனில் $V = irl.$

அளக்கக்கூடிய பெரும் மின்னழுத்தமானது irl-ன் பெரும மதிப் பாகும். இதுவே மின்கலத்தின் மின்னழுத்தமும் ஆகும்.

C-க்கும் D-க்கும் இடையே ஒன்றன்பின் ஒன்றாக V_1 மற்றும் V_2 என்ற மின்னழுத்தங்களை, இணைத்து இவற்றைச் சமனம் செய்யும் நீளங்கள் l_1 மற்றும் l_2 எனப் பெறப்படட்டும்.

$V_1 = irl_1$ மற்றும் $V_2 = irl_2$.

$$\therefore \frac{V_1}{V_2} = \frac{l_1}{l_2}$$

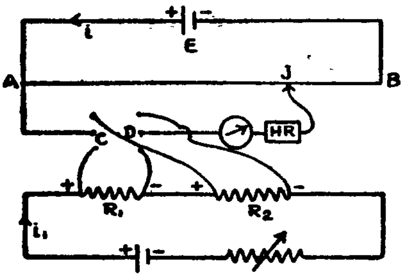
மின்கலம் E-யுடன் தொடரிணைப்பில் ஒரு மின்தடை மாற்றியை இணைத்தால் மின்னழுத்தமானிக் கம்பி வழியாகப் பாயும் மின்னோட்டம் i-யை மாற்றலாம். எனவே பல அளவீடுகள் எடுக்கலாம்.

3. 2 8. மின்னழுத்தமானி மின்தடைகளை ஒப்பிடல்

இரண்டு மின்தடைகள் R_1 மற்றும் R_2 ஐத் தொடராக இணைத்து. அவை வழியே மின்னோட்டம் i_1 செலுத்தப்பட்டும். அவற்றின் முனைகளுக்கிடையே i_1R_1 மற்றும் i_1R_2 என்ற மின்னழுத்த வேறுபாடுகள் கிடைக்கும். இந்த மின்னழுத்த வேறுபாடுகள் i_1R_1 மற்றும் i_1R_2-ஐ ஒன்றன்பின் ஒன்றாக புள்ளிகள் C,D இடையே இணைத்து, அவற்றிற்கான சமன நீளங்கள் l_1 மற்றும் l_2-ஐ மின்னழுத்தமானியில் அளக்க. ஆகையால்

$i_1 R_1 = irl_1$ மற்றும் $i_1 R_2 = irl_2$ ஆகும்,

ஆகையால் $\frac{R_1}{R_2} = \frac{l_1}{l_2}$ இரண்டு மின்தடைகளிலொன்று



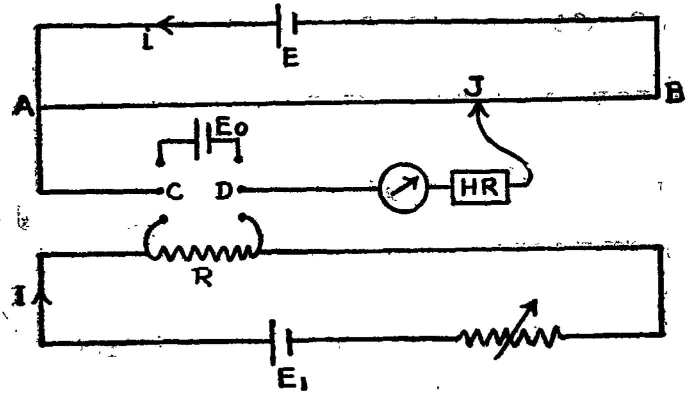
படம் 3-16
மின்னழுத்தமானி—மின் தடைகளை ஒப்பிடல்

தெரிந்த மதிப்புடையது எனில் மற்றதின் மதிப்பை எளிதில் கணக்கிடலாம். மின்னழுத்த வேறுபாடுகள் i_1R_1 மற்றும் i_2R_2-ஐ ஒன்றன்பின் ஒன்றாக இடைவெளி CD-யில் இணைக்க, படம் 3-16-ல் காண்பதுபோல, ஆறுமுனைச் சாவியைப் பயன்படுத்தலாம்.

3. 2. 9 மின்னழுத்தமானியைப் பயன்படுத்தி மின்னோட்டத்தை அளத்தல்

அளக்கவேண்டிய மின்னோட்டம் I-யை படித்தர மின்தடை R வழியே செலுத்தி R-ன் முனைகளுக்கிடையே உள்ள மின்னழுத்த வேறுபாடு IR ஒரு படித்தர மின்கலத்தின் மின்னியக்கு விசையுடன் ஒப்பிடப்படுகிறது. டேனியல் மின்கலம் படித்தரமாகப் பயன்

படும். டேனியல் மின்கலத்தின் மின்னியக்கு விசையை E_0-ச் சரியீடு செய்யும் நீளம் l_0 என்றும், மின்னழுத்த வேறுபாடு IR-ஐச் சரியீடு செய்யும் நீளம் l என்றும் பெறப்பட்டால்



படம் 3-17

$$E_0 = irl_0 \text{ மற்றும் } IR = irl$$

ஆகையால் $\frac{IR}{E_0} = \frac{l}{l_0}$ அல்லது $I = \frac{E_0}{R}\frac{l}{l_0}$ ஆகும்.

இவ்வாறு மின்னோட்டத்தை அளக்கலாம்.

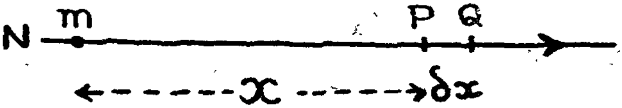
3.3. காந்தவியல்

3.3.1. காந்த அழுத்தம்

காந்தப்புலத்தில் ஒரு புள்ளியிலிருந்து மற்றதற்கு ஓரலகு வட துருவத்தைக்கொண்டு செல்ல செய்யப்படும் வேலையிலிருந்து அந்த இரண்டு புள்ளிகளுக்கிடையே உள்ள காந்த அழுத்த வேறுபாடு பெறப்படுகிறது. ஈறிலாத் தொலைவிலிருந்து ஓரலகு வட துருவத்தை காந்தப்புலத்திலுள்ள ஒரு புள்ளிக்குக் கொண்டு வருவதற்குச் செய்ய வேண்டிய வேலையின் அளவு அப்புள்ளியில் உள்ள **காந்த அழுத்தம்** ஆகும். காந்த அழுத்தம் ஒரு ஸ்கேலார் அளவு ஆகும். தனித்த வட துருவமோ அல்லது தென் துருவமோ கற்பனையில்தான் உண்டு; மெய்யல்ல என்பதை நினைவில் கொள்ள வேண்டும். தனித்த துருவம் என்ற கற்பனையானது கணக்கீடுகளில் பெருமளவிற்கு உதவுகிறது.

3.3.2. வலிமை m உடைய துருவத்தால் ஒரு புள்ளியில் ஏற்படும் காந்த அழுத்தம்

வலிமை m உடைய வடதுருவம் N என்க. N-லிருந்து x-தொலைவில் உள்ள புள்ளி P ஆகட்டும்; தொலைவு $(x+dx)$-ல் உள்ள



படம் 3-18
ஒரு புள்ளியில் காந்த அழுத்தம் கணக்கிடல்

புள்ளி Q ஆகும். m-ன் காரணமாக P-யில் ஏற்படும் காந்தத் தூண்டல் B என்று கொள்வோம். dx மிகச் சிறிய தொலைவு என்க; எனவே இச்சிறு தொலைவில் காந்தத் தூண்டல் B-யானது மாறிலியாக உள்ளது எனக் கொள்ளலாம். P, Q-க்கு இடையில் வைக்கப்படும் ஓரலகு காந்த துருவத்தின்மீது செயல்படும் விசை B; அத்துருவத்தை Q-விலிருந்து P-க்குக் கொண்டு செல்ல செய்யப்படும் வேலை $= B.dx$. P-க்கும் Q-க்கும் இடையே காந்த அழுத்த வேறுபாடு dV எனில்

$$dV = -B.dx.$$

ஆகும். தொலைவு அதிகரிக்கும்பொழுது காந்த அழுத்தம் குறைகிறது என்பதை எதிர்க்குறி காட்டுகிறது. N-ல் உள்ள வடதுருவத்தின் துருவ வலிமை m ஆம்பியர்-மீட்டர் என்க; இதனால் P-ல் ஏற்படும் காந்த அழுத்தம் V என்க; ஓரலகு வடதுருவத்தை ஈறிலாத் தொலைவிலிருந்து P-க்குக் கொண்டுவரச் செய்யப்படும் வேலை V ஆகும். அதாவது,

$$V = -\int_{\infty}^{x} B\,dx. \quad \text{வெபர்/மீட்டர்}$$

m-லிருந்து x-தொலைவில் காந்தத் தூண்டல் B என்பதால்,

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi}\,\frac{m}{x^2}\quad \frac{\text{வெபர்}}{\text{மீட்டர்}^2}$$

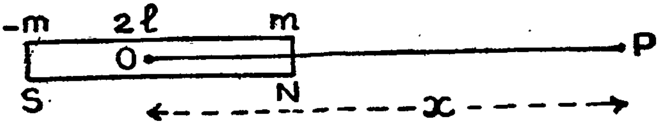
$$V = -\int_{\infty}^{x} \frac{\mu_0}{4\pi}\,\frac{m}{x^2}\,dx$$

$$= -\frac{\mu_0}{4\pi} m \left[-\frac{1}{x} \right]_{\infty}^{x}$$

$$= \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{m}{x} \frac{\text{வெபர்}}{\text{மீட்டர்}}$$

3. 3. 3. சட்டக் காந்தத்தின் அச்சுக்கோட்டின் மீதுள்ள புள்ளியில் காந்த அழுத்தம்

N S என்ற சட்டகாந்தம் 2l நீளமுடையது. இதன் துருவ வலிமை m ஆம்பியர்-மீட்டர். இந்த காந்தத்தின் மையம் O-விலிருந்து அதன் அச்சுக் கோட்டின்மீது தொலைவு x-ல் உள்ள P-என்னும் புள்ளியைக் கவனிக்க.



படம் 3 - 19

காந்தக் கட்டையின் அச்சுக் கோட்டில் காந்த அழுத்தம் காணல்

புள்ளி P-ல், வடதுருவம் N-ஆல் ஏற்படும் காந்த அழுத்தம்

$$= \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{m}{NP}$$

$$= \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{m}{x-l} \text{ வெபர்/மீட்டர்}$$

புள்ளி P-ல், தென் துருவம் S-ஆல் ஏற்படும் காந்த அழுத்தம்

$$= -\frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{m}{SP}$$

$$= -\frac{\mu_0}{4\pi} \frac{m}{x+l} \text{ வெபர்/மீட்டர்}$$

காந்தம் NS ஆனது P-ல் ஏற்படுத்தும் நிகர காந்த அழுத்தம்

$$= \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{m}{x-l} - \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{m}{x+l}$$

$$= \frac{\mu_0 m}{4\pi} \left\{ \frac{1}{x-l} - \frac{1}{x+l} \right\}$$

$$= \frac{\mu_0 m}{4\pi} \frac{2l}{x^2-l^2}$$

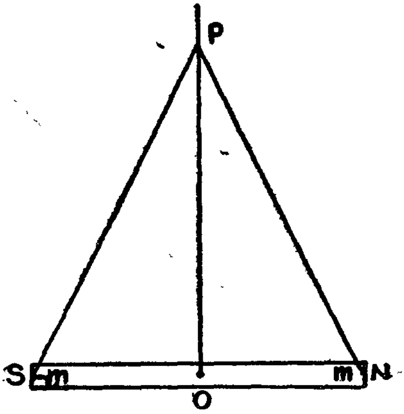
$$= \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{M}{x^2-l^2} \text{ வெபர்/மீட்டர்.}$$

[ஏனெனில் $M = 2ml$ என்பது காந்தத்தின் திருப்பு திறன் ஆகும்]

காந்தம் மிகச்சிறியதாயின்— அதாவது $l << x$ எனில்—

$$\text{P-ல் காந்த அழுத்தம்} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{M}{x^2} \text{ வெபர்/மீட்டர்}$$

3 3.4 சட்டக் காந்தத்தின் நடுவரைக் கோட்டின் மீதுள்ள புள்ளியில் காந்த அழுத்தம்



படம் 3 - 20
காந்த நடுவரைக் கோட்டில் காந்த அழுத்தம் காணல்

வடதுருவம் N-ஆல் P-ல் ஏற்படும்

$$\text{காந்த அழுத்தம்} = -\frac{\mu_0}{4\pi} \frac{m}{NP}$$

தென் துருவம் S-ஆல் P-ல் ஏற்படும்

$$\text{காந்த அழுத்தம்} = -\frac{\mu_0}{4\pi} \frac{m}{SP}$$

ஆகையால், P-ல் ஏற்படும் நிகர காந்த அழுத்தம்

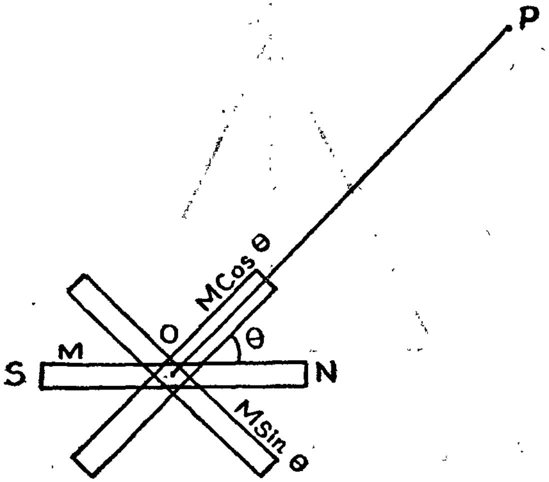
$$= \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{m}{NP} - \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{m}{SP}$$

$$= O \quad [\because NP = SP]$$

நடுவரைக் கோட்டில் P எவ்விடத்திலிருந்தாலும் மேற்கண்ட முடிவு பொருந்தும். ஆகையால் நடுவரைக் கோட்டில் எந்தப் புள்ளியிலும் காந்த அழுத்தம் சுழியாகும். ஆகையால் ஒரு சட்டக் காந்தத்தின் நடுவரைக் கோட்டின்மீது ஒரு புள்ளியிலிருந்து மற்றொன்றிற்கு ஒரு காந்த துருவத்தை நகர்த்துவதற்கு வேலை ஏதும் செய்ய வேண்டியதில்லை.

3.3.5. சிறிய சட்டக்காந்தம் ஏதாவதொரு புள்ளியில் ஏற்படுத்தும் காந்த அழுத்தம்

NS என்ற சட்டகாந்தம் நீளம் $2l$ மீட்டர் உடையது. அதன் திருப்புதிறன் M ஆம்பியர்-மீட்டர்^{2}. இந்த காந்தத்தின் மையம் O-விலிருந்து தொலைவு x-ல் உள்ள பள்ளி P-யைக் கருதுவோம்.



படம் 3-21
ஏதேனுமொரு புள்ளியில் காந்த அழுத்தம்

காந்தம் SN-ன் அச்சுக்கும் OP.க்கும் இடையே உள்ள கோணம் θ என்க. காந்தத்தின் திருப்புதிறனை OP-க்கு இணையாக $M \cos \theta$ என்றும், OP-க்குக் குத்தாக $M \sin \theta$ என்றும்-இரு கூறுகளிடுவோம். P ஆனது $M \cos \theta$-வின் அச்சுக் கோட்டின்மீது உள்ளது; அதுவே $M \sin \theta$-வின் நடுவரைக் கோட்டின்மீது உள்ளது.

$M \cos \theta$ வினால் P-ல் ஏற்படும் காந்த அழுத்தம் =

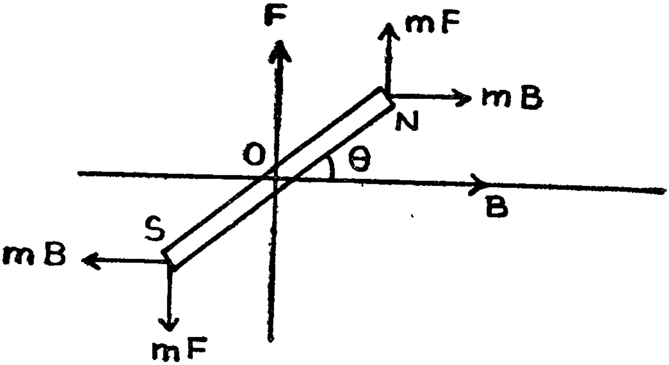
$$\frac{\mu_0}{4\pi} \frac{M \cos \theta}{x^2} \frac{\text{வெபர்}}{\text{மீட்டர்}^2}$$

$M \sin \theta$-வினால் P-ல் ஏற்படும் காந்த அழுத்தம் = O.

ஆகையால் திருப்புதிறன் M உடைய சிறிய காந்தம் P-ல் ஏற்படுத்தும் காந்த அழுத்தம் $= \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{M \cos \theta}{x^2} \frac{\text{வெபர்}}{\text{மீட்டர்}^2}$

3.3.6. விலகு காந்தமானி (Deflection Magnetometer)

டேன்ஞ்சண்ட் விதியை அடிப்படையாகக் கொண்டு அமைந்தது விலகு காந்தமானி. ஒன்றுக்கொன்று நேர்குத்தான, சீரான இரண்டு காந்தப் புலங்கள் ஒருங்கே செயல்படும் புள்ளியில் தொங்குகின்ற காந்த ஊசியானது அவ்விரண்டு புலங்களின் தொகுபயன் புலத்தின் திசைக்கு வந்து நிற்கும்.



படம் 3-22
டேஞ்சன்ட் விதி

O என்ற புள்ளியில் ஒன்றுக்கொன்று நேர்குத்தாகச் செயல்படும் இரண்டு காந்தத் தூண்டல்கள் F மற்றும் B என்க. காந்த ஊசியின் நீளம் $2l$, மற்றும் அதன் துருவ வலிமை m என்க. தொங்கும் அந்த ஊசி தூண்டல் B-யின் திசையிலிருந்து θ கோணம் விலகி நிற்கும்.

காந்தத் தூண்டல் B காரணமாக காந்த ஊசிமீது வலஞ்சுழியாகச் செயல்படும் இரட்டையின் திருப்புதிறன் $= mB.2l \sin \theta$. காந்தப்புலம் F காரணமாக ஊசிமீது இடஞ்சுழியாகச் செயல்படும் இரட்டையின் திருப்புதிறன் $= mF.\,2l \cos \theta$. காந்த ஊசி சமநிலையில் உள்ளதால்

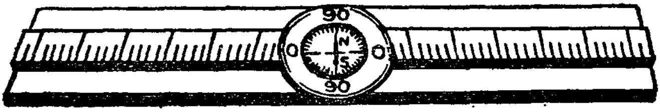
$$mB\,2l \sin \theta = mF\,2l \cos \theta$$

$$\text{அல்லது} \quad \frac{F}{B} = \tan \theta.$$

இதுவே டேஞ்சன்ட் விதி எனப்படுகிறது.

விலகு காந்தமானியின் முக்கிய உறுப்பு, இடைத்தளத்தில் எளிதாக சுழலும் வகையில் கூர்முனைமீது தாங்கப்பட்ட காந்த ஊசி ஆகும். காந்த ஊசியின் மையத்தில் அதற்கு நேர்குத்தாக ஒரு

அலுமினியக் குறிமுள் பொருத்தப்பட்டுள்ளது. இக்குறிமுள் ஒரு வட்டக்கோலின் மீது நகரும்; இதனிலிருந்து காந்த ஊசியின் விலகலை அளக்கலாம். வட்டக்கோல் நான்கு காற்பகுதிகளாகப் பிரிக்கப்பட்டிருக்கும்; ஒவ்வொரு பகுதியிலும் 0° முதல் 90° வரை அளவீடுகள் உண்டு. இடமாறு தோற்றப் பிழை இன்றி அளவீடுகள்



படம் 3 - 23
விலகு காந்தமானி

எடுக்க வசதியாக வட்டக்கோல் சமதள ஆடியின்மீது வரையப் பட்டுள்ளது. வட்டக்கோல், காந்த ஊசி, குறிமுள் மூன்றும் ஒரு பெட்டியினுள் பொருத்தப்பட்டுள்ளன. இப்பெட்டியே காந்தஊசிப் பெட்டி எனப்படுவது. இப்பெட்டியின் இரண்டு பக்கமும் இரண்டு நீண்ட அளவு கோல்கள் உள்ளன. இந்த அளவு கோல்களின் சுழிகள் காந்த ஊசியின் சுழல் தானத்தில் பொருந்துகின்றன.

விலகு காந்தமானியைச் சாதாரணமாக இரண்டு நிலைகளில் பயன்படுத்துவது வழக்கம். இந்த நிலைகளாவன: Tan - A நிலை மற்றும் Tan - *B* நிலைகளாகும்.

3. 3. 7. Tan-A நிலை (Tan A position)

ஒரு காந்தத்தின் அச்சுக்கோட்டின்மீதான காந்தப்புலம் புவி காந்தப்புலத்தின் கிடக்கைக் கூறுக்குக் நேர்குத்தாகச் செயல்படுமாறு விலகு காந்தமானி வைக்கப்படுகிறது. இது Tan - A நிலை.

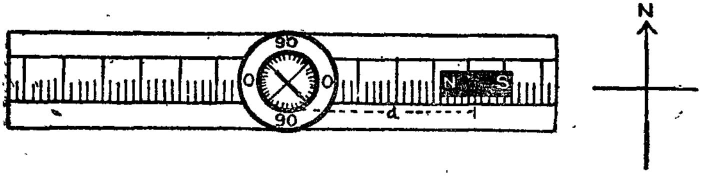
வேறு எந்தப்புலமும் இல்லாதபொழுது, காந்த ஊசியானது புவிகாந்தப்புலத்தின் கிடக்கைக்கூறின் திசையில் நிலைபெறும். புவிகாந்தப்புலத்தின் கிடக்கைக்கூறின் வலிமை H என்றறி வோம். ஆகையால் அதற்கான காந்தத்தூண்டல் $B = \mu H$ ஆகும். (μ = காற்றின் சார்பு காந்த உட்புகுதிறன்)

விலகு காந்தமானியை அதன் இரண்டு அளவுகோள் புயங்களும் அதன் அலுமினியக் குறிமுள்ளின் நீட்டிப்பாக நேர்கோட்டில் இருக்கு மாறு இருத்துக. தற்பொழுது அப்புயங்கள் கிழக்கு—மேற்கு திசையில்—அதாவது புவிகாந்தப் புலத்தின் திசைக்கு நேர்குத்தாகப் பொருந்தும். காந்தஊசிப் பெட்டியை மட்டும் சுழற்றி அதன் குறிமுள் முனைகள் சுழி-சுழி காட்டுமாறு வைக்க.

விலகு காந்தமானியின் ஒரு புயத்தின்மீது சட்டகாந்தம் NS-ஐ அப்புயத்திற்கு இணையாக வைக்க; அதனால் காந்த ஊசிமீது சட்ட காந்தம் ஏற்படுத்தும் காந்ததூண்டல் F புவிகாந்த தூண்டலுக்கு நேர் குத்தாக அமையும். எனவே காந்த ஊசியானது θ கோணம் விலகும்.

அதாவது $\frac{F}{B_H} = \tan\theta$ ஆகும்.

சட்ட காந்தத்தின் திருப்பு திறன் M என்றும், அதன் நீளம் $2l$ என்றும் கொள்வோம். காந்தஊசிப் பெட்டியின் மையத்திலிருந்து



படம் 3 - 24
Tan A நிலை

தொலைவு d-ல் காந்தம் NS-ன் மையம் இருப்பதால்

$$F = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{2Md}{(d^2-l^2)^2}$$

$$= B_H \tan\theta$$

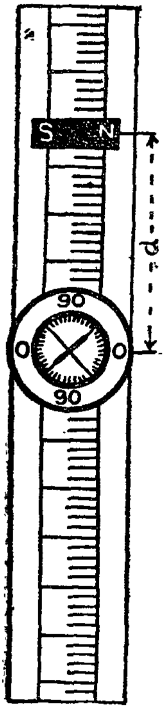
அல்லது $$\frac{M}{B_H} = \frac{4\pi(d^2-l^2)^2}{\mu_0 2d} \times \tan\theta.$$

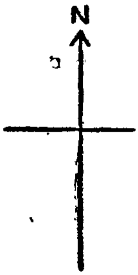
3.3.8. Tan B நிலை (Tan B Position)

இந்த நிலையில், ஒரு காந்தத்தின் நடுவரைக் கோட்டின்மீதான காந்தப்புலம் புவிகாந்தப் புலத்தின் கிடக்கைக் கூறுக்குக் நேர் குத்தாகச் செயல்படுமாறு விலகுகாந்தமானி வைக்கப்படுகிறது.

விலகு காந்தமானியை அதன் இரண்டு புயங்களும் காந்த ஊசிக்கு இணையாக இருக்குமாறு இருத்துக. தற்பொழுது அப்புயங்கள் வடக்கு—தெற்கு திசையில் பொருந்தும். காந்தஊசிப்

பெட்டியை மட்டும் சுழற்றி அதன் குறிமுள் முனைகள் சுழி - சுழி காட்டுமாறு வைக்க.





விலகு காந்த மானியின் ஒரு புயத்தின் மீது சட்ட காந்தம் NS-ஐ அப்புயத்திற்குக் குத்தாக இருக்குமாறு வைக்க; அதனால் NS-ன் நடுவரைக்கோட்டின்மீது காந்த ஊசி அமைகிறது. NS தோற்றுவிக்கும் புலம் புவிகாந்தப் புலத்திற்குக் குத்தாக உள்ளது. எனவே காந்த ஊசியானது θ கோணம் விலகும். அதாவது

$$\frac{F}{B_H} = \tan\theta \text{ ஆகும்.}$$

இந்த அமைப்பில்,

$$F = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{M}{(d^2+l^2)^{3/2}}$$

$$= B_H \tan\theta$$

அல்லது $$\frac{M}{B_H} = \frac{4\pi}{\mu_0}(d_2 + l_2)^{\frac{3}{2}} \tan\theta$$

மேற்கண்ட அமைப்புகளில் அளவிடப்படும் θ - மதிப்பில் பல காரணங்களால் பிழைகள் ஏற்படலாம். இந்தப் பிழைகளைத் தவிர்ப்பதற்காக வரிசையாகப் பல அளவீடுகள் எடுத்து θ - வின் சராசரி காணப்படுகிறது.

படம் 3 - 25
Tan B நிலை

(i) காந்த ஊசியின் சுழல்தானம் கூர்முனை வட்டக் கோலின் மையத்தில் பொருந்தாமலிருக்கலாம். இதனால் ஏற்படக்கூடிய பிழையைத் தவிர்க்க குறிமுள்ளின் இரண்டு முனைகளுக்கும் உரிய அளவீடுகள் எடுக்கப்படுகின்றன.

(ii) சட்டக்காந்தம் NS ஆனது சமச்சீருடன் காந்தமாகாதிருக்கலாம். இதனால் ஏற்படும் பிழையைத் தவிர்க்க, சட்டக் காந்தத்தை முனைக்கு முனை மாற்றிவைத்து குறிமுள் முனைகள் காட்டும் இரண்டு அளவீடுகள் எடுக்கப்படும்.

(iii) புயங்களின் மீதுள்ள அளவுகோல்களின் சுழிகள் ஊசியில் சுழல்தானத்துடன் பொருந்தாமலிருக்கலாம். இந்தப் பிழையைத் தவிர்க்க, காந்தத்தை காந்தஊசிப் பெட்டியின் மற்றொரு

பக்கத்தில், முதல் பக்கத்தில் வைக்கப்பட்ட தொலைவிலேயே வைத்து, மேலே சொல்லப்பட்ட நான்கு அளவீடுகள் மீண்டும் எடுக்கப் படுகின்றன.

எடுக்கப்பட்ட எட்டு அளவீடுகளின் சராசரியாக θ கணக்கிடப் படுகிறது.

3. 3. 9. இரண்டு சட்டக்காந்தங்களின் காந்த திருப்புதிறன்களை ஒப்பிடல்

(அ) விலகல் முறை : விலகு காந்தமானியை Tan - A நிலையில் வைக்க. காந்த ஊசியிலிருந்து தொலைவு d_1-ல் திருப்பு திறன் M_1 உடைய காந்தத்தை வைக்க, மேலே விவரிக்கப்பட்டது போல எட்டு அளவீடுகள் எடுத்து சராசரி θ_1-ஐக் கணக்கிடுக. முதல் காந்தத்தை நீக்கிவிட்டு, திருப்புதிறன் M_2 உடைய இரண்டாவது காந்தத்தை தொலைவு d_2-ல் முன்போல் வைக்க; முன்போலவே எட்டு அளவீடுகள் எடுத்து சராசரி θ_2 வைக் கணக்கிடுக. θ_1 மற்றும் θ_2 என்ற விலகல்கள் 30° க்கும் 60° க்கும் இடையே மதிப்புடையனவாக தொலைவுகள் d_1 மற்றும் d_2-ஐத் தேர்ந்தெடுக்க வேண்டும்.

$$\frac{M_1}{B_H} = \frac{4\pi(d_1^2-l_1^2)^2}{\mu_0 2d_1} \tan\theta_1$$

$$\frac{M_2}{B_H} = \frac{4\pi(d_2^2-l_2^2)^2}{\mu_0 2d_2} \tan\theta_2$$

ஆகையால்
$$\frac{M_1}{M_2} = \frac{(d_1^2-l_1^2)^2}{(d_2^2-l_2^2)^2}\ \frac{d_2}{d_1}\ \frac{\tan\theta_1}{\tan\theta_2}$$

காந்தங்களின் நீளங்கள் சிறியனவாயின் - அதாவது $l_1 << d_1$ மற்றும் $d_2 << l_1$ எனில்,

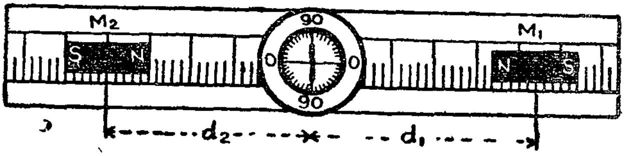
$$\frac{M_1}{M_2} = \frac{d_1^3}{d_2^3}\ \frac{\tan\theta_1}{\tan\theta_2}$$

மேலும், d_1 க்குச் சமமாக d_2-ம் எடுக்கப்பட்டால்

$$\frac{M_1}{M_2} = \frac{\tan\theta_1}{\tan\theta_2}$$

இதே சோதனையை, விலகு காந்தமானியை Tan - B நிலையில் வைத்தும் செய்யலாம்.

(ஆ) சுழி விலகல் முறை : விலகு காந்தமானியை Tan A நிலையில் வைக்க. அதன் ஒரு புயத்தின்மீது, ஏறத்தாழ 45° விலக்கலை ஏற்படுத்துகின்ற தொலைவு d_1-ல் திருப்புத்திறன் M_1 உடைய முதல் காந்தத்தை வைக்க. மற்றொரு புயத்தின் மீது (படம் 3-26);



படம் 3 - 26
சுழிவிலகல் முறை

திருப்புதிறன் M_2 உடைய இரண்டாவது காந்தத்தை வைத்து, முன்னர் ஏற்பட்ட விலகல் சுழியாகுமாறு M_2-ன் தொலைவு d_2-ஐ சீரமைக்க. தற்பொழுது காந்த ஊசியின்மீது இரண்டு காந்தங்களும் ஏற்படுத்தும் புலங்கள் சமமாகவும், எதிரெதிரான திசைகளிலும் உள்ளன.

$$\therefore \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{2M_1 d_1}{(d_1^2-l_1^2)} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{2M_2 d_2}{(d_2^2-l_2^2)^2}.$$

$$\therefore \frac{M_1}{M_2} = \frac{(d_1^2-l_1^2)^2}{(d_2^2-l_2^2)^2} \times \frac{d_2}{d_1}$$

$l_1 << d_1$ மற்றும் $l_2 << d_2$ என்றிருப்பின்

$$\frac{M_1}{M_2} = \frac{d_1^3}{d_2^3}$$

பிழைகளைத் தவிர்க்க, காந்தங்களை அவற்றின் இடங்களிலேயே முனைக்கு—முனை திருப்பிவைத்தும், புயங்களின் மீது இடப்பரிமாற்றம் செய்தும் சோதிக்கவேண்டும். தொலைவுகளின் சராசரி மதிப்புகளைக் கணக்கீட்டில் பயன்படுத்தலாம்.

விலகு காந்தமானியை Tan—B நிலையில் வைத்தும் மேற்கண்ட சேர்தனையைச் செய்யலாம்.

3. 3. 10. அலைவு காந்தமானி (Vibration Magnetometer)

காந்தத் தூண்டல் B கொண்ட சீரான காந்தப்புலம் ஒன்றில் செங்குத்துத் திசையை அச்சாகக் கொண்டு கிடைத்தளத்தில் அலைவுறுவதற்கு வசதியாக ஒரு காந்தத்

தைத் தொங்கவிடுவோம். இதன் சமநிலையிலிருந்து இதனைச்சிறிது திருப்பி விட்டால், அது அலைவுறும். காந்தமானது புலத்தின் திசைக்கு θ கோணம் விலகும்பொழுது, புலம் அதனைச் சமநிலைக்குக் கொண்டுவருவதற்காக அதன்மீது ஒரு திருப்புத்திறனை செலுத்துகிறது. இந்த திருப்புத்திறன்.

$$C=MB\sin\theta,$$

(M = காந்தத்தின் திருப்புத்திறன், B = புலத்தின் காந்தத் தூண்டல்).

காந்தம் தொங்குகின்ற நூலில் முறுக்கு இருக்கக்கூடாது. தொங்குகின்ற அச்சைப் பொறுத்து காந்தத்தின் நிலைமத்திருப்பு திறன் I என்க. அதனுடைய கோணமுடுக்கம் $\frac{d^2\theta}{dt^2}$ என்க. ஆகவே காந்தத்தின் மீது செயல்பட்டு அதனைத் திருப்பிவிடும் இரட்டையின் திருப்புதிறன் $I\frac{d^2\theta}{dt^2}$ ஆகும்.

$$\therefore I\frac{d^2\theta}{dt^2} = -MB\sin\theta$$

$$= -MB\theta \text{ (}\theta\text{ மிகச் சிறியதாயின்)}$$

அல்லது $I\frac{d^2\theta}{dt^2} + MB\theta = 0.$

அல்லது $\frac{d^2\theta}{dt^2} + \frac{MB\theta}{I} = 0.$

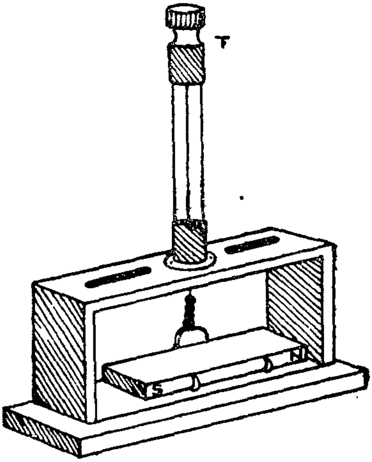
இச்சமன்பாடு, சீரிசை இயக்கத்திற்கான சமன்பாடு என்பது விளங்கும். எனவே காந்தம் சீரிசை இயக்கத்துடன் அலைவுறுகிறது. ஆகையால் அதன் அலைவு நேரம்

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{MB}}$$

அலைவு காந்தமானியில் எதிரெதிர் பக்கங்கள் கண்ணாடியாலான மரப்பெட்டி ஒன்று உள்ளது. இதன் தலைப்பக்கத்தில் நேர்குத்தாக உள்ள குழாயின் உச்சியில் முறுக்குமுகடு T உள்ளது. T -யிலிருந்து முறுக்கற்ற பட்டு நூல் தொங்குகிறது. அதன் கீழ்முனையில் ஒருஅங்கவடி (stirrup) இணைக்கப்படுகிறது. அங்கவடியில் காந்தத்தை வைக்கலாம். காந்தத்தின் சமநிலையைச்

சிரமைக்க முறுக்கு முகட்டைத் திருப்பலாம். பெட்டியின் அடிப்பகுதியில் அதற்கிணையான கோடு ஒன்றுடன் கூடிய சமதள ஆடி ஒன்று கிடக்கையாக உண்டு. இதனுதவியால் இடமாறு தோற்றப்பிழையின்றி காந்தத்தின் அலைவுகளை எண்ணலாம். மேலும், காந்தத்தை காந்த துருவதளத்தில் இருத்துவதற்கு அந்த நேர்கோடு உதவும்.

அலைவு காந்தமானியை காந்த துருவதளத்தில் அமைக்கப் பின்வருமாறு செய்யவேண்டும்: காந்தமானிப் பெட்டியின் அடியிலுள்ள நேர்கோட்டின்மீது சிறிய காந்த ஊசிப்பெட்டியை வைக்க. காந்த ஊசியின் திசைக்கு இணையாக நேர்கோடு வருமாறு பெட்டியைத் திருப்புக. தற்பொழுது நேர்கோடானது காந்ததுருவதளத்தில் உள்ளது. காந்தமேற்காத (எடுத்துக் காட்டு : பித்தளை) தண்டு ஒன்றை அங்கவடியில் வைத்து அது நேர்கோட்டிற்கு இணையாகுமாறு முறுக்கு முகட்டைத் திருப்புக, அத்தண்டினை நீக்கி விட்டு அதனிடத்தில் காந்தத்தை வைத்தால் அது காந்த துருவதளத்தில் அமையும். காந்தத்தை அலைவுறச் செய்வதற்கு வேறொரு காந்தத்தை அதனருகில் கொண்டுவந்து பின்னர் நீக்குக.



படம் 3-27
அலைவு காந்தமானி

3. 3. 11. M, மற்றும் B_H-ஐ நிர்ணயித்தல்

புவிகாந்தப் புலத்தின் கிடக்கைச் செறிவையும் காந்தமொன்றின் திருப்புத் திறனையும் நிர்ணயிக்க விலகு காந்தமானியையும், அலைவு காந்தமானியையும் பயன்படுத்தலாம்.

Tan A நிலையில் விலகு காந்தமானியையும், திருப்புத்திறன் M உடைய காந்தத்தையும் பயன்படுத்தி $\frac{M}{B_H}$ நிர்ணயிக்கப்படுகிறது. அதாவது

$$\frac{M}{B_H} = \frac{4\pi(d^2 - l^2)^2}{\mu_0 2d} \tan\theta = X \text{ என்க.}$$

அலைவு காந்தமானியின் அங்கவடியில் வைத்து புவிகாந்தப் புலத்தில் அதன் அலைவு நேரத்தை நிர்ணயிக்க,

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{MB_H}}$$

$$\text{அல்லது } MB = 4\pi^2 \frac{I}{T^2} = Y \text{ என்க}$$

காந்தத்தின் நிறை m, நீளம் a, அகலம் b எனில் அதனுடைய நிலைமத் திருப்பு திறன் $I = \frac{m(a^2+b^2)}{12}$

எனக் கணக்கிட்டுக் கொள்ளலாம். ஆகவே

$$M = \sqrt{\frac{M}{B_H} \cdot MB_H} = \sqrt{XY}$$

$$\text{மற்றும் } B_H = \sqrt{\frac{MB_H}{M/B_H}} = \sqrt{\frac{Y}{X}}$$

இவ்வாறு M-ஐயும், B_H-ஐயும் கணக்கிடலாம்.

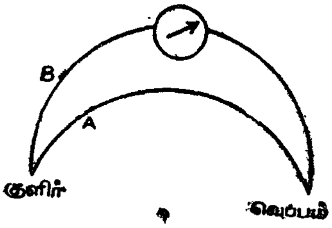
3.4. வெப்ப-மின் விளைவுகள்

ஒரு மின்சுற்றின் வெவ்வேறு பகுதிகள் வெவ்வேறு வெப்ப நிலைகளில இருப்பதால் தோன்றும் விளைவுகள் வெப்ப மின் விளைவுகளாகும். அவை

(i) சீபெக்விளைவு (ii) பெல்டியர்விளைவு (iii) தாம்சன் விளைவு என (Seebeck Effect) மூவகைப்படும்.

3. 4. 1. சீபெக் விளைவு

வெவ்வேறான இரண்டு உலோகக் கம்பிகளின் முனைகள் சேரும் சந்திகளை வெவ்வேறான வெப்பநிலைகளில் வைத்தால் அக்கம்பிகளின் சுற்றில் ஒரு மின்னியக்கு விசை தோன்றுகிறது. இதன் காரணமாக அச்சுற்றில் மின்னோட்டம் ஏற்படுவதை கால்வனாமீட்டர் காட்டுகிறது. இந்த விளைவை 1821-ல் சீபெக் கண்டுபிடித்தார். முனைகள் சேர்ந்த ஒரு உலோக அமைப்பினை வெப்ப-மின்னிரட்டை (thermo-couple) என்று வழங்குவர். இதனில் தோன்றும் மின்னியக்கு விசை வெப்ப-மின்னியக்கு விசை (thermo e.m.f.) எனப்படும்.



படம் 3-28
வெப்ப மின்னிரட்டை

உலோகங்களுக்கான எலக்ட்ரான் கொள்கையைப் பின்பற்றி வெப்ப-மின்னியக்கு விசையை விளக்கலாம். ஒவ்வொரு உலோகத்திலும் கட்டுறா எலக்ட்ரான்கள் பல உண்டு. ஓரலகு பருமனில் உள்ள கட்டுறா எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கை உலோகத்திற்கு உலோகம் வேறுபடும். இந்த எலக்ட்ரான்களின் சராசரி திசை வேகமும் அதுபோன்றே வேறுபடும். எனவே இரண்டு உலோகங்களின் சந்திப்பில் ஒரு உலோகத்திலிருந்து மற்றதற்கு எலக்ட்ரான்கள் இடம் பெயர்கின்றன; ஆனால் இப்படிச் சில எலக்ட்ரான்கள் இடம் பெயர்ந்தவுடன் அவை எதிர்மின்னழுத்தத்தை ஏற்படுத்துகின்றன. இந்த எதிர் மின்னழுத்தமானது மேலும் அதிக எலக்ட்ரான்கள் மேற்கொண்டு இடம் பெயர்வதை எதிர்க்கின்றது. எனவே உலோகச் சந்தியில் குறிப்பிட்ட அளவுக்கு மின்னழுத்தம் நிலைபட்டுவிடுகிறது. இதுவே **தொடர்பு மின்னழுத்தம் (Contact Potential)** எனப்படுகிறது. இரண்டு சந்திகளும் சமவெப்பநிலையில் உள்ள பொழுது இவற்றிலுள்ள தொடர்பு மின்னழுத்தங்களும் சமமாகவும், எதிரெதிராகவும் உள்ளன. எனவே சுற்றில் மொத்த மின்னியக்குவிசைசுழியாகிறது. ஆனால் உலோகச் சந்திகள் வெவ்வேறு வெப்பநிலைகளில் இருக்கும் பொழுது, எலக்ட்ரான்களின் திசை வேகம் உலோகத்திற்கு உலோகம் வெப்பநிலையைச் சார்ந்து வேறுபடுவதால், சந்திகளில் தொடர்பு மின்னழுத்தங்களும் வேறுபடும்: ஆகையால் இந்த வேறுபாட்டிற்குச் சமமாக சுற்றில் வெப்ப—மின்னழுத்தம் தோன்றுகிறது. V மற்றும் V' என்பன தொடர்பு மின்னழுத்தங்களாயின் வெப்ப மின்னியக்கு விசை, $e = V' - V$ ஆகும்.

V (அல்லது V') ஆனது 0·5 வோல்ட் வரை மதிப்புடையதாகலாம்; எனினும் (சந்திகளின் வெப்பநிலை வேறுபாடு 100°C இருந்தாலும்) e ஆனது ஒரு சில மில்லி வோல்ட்டுகளேயாகும்.

3.4.2. வெப்ப-மின் வரிசை

உலோகங்களை இணை இணையாக ஆராய்ந்த பின்னர் சீபெக் அவற்றையொரு வரிசைப்படுத்தினார். இவ்வரிசையாவது: Sb, Fe Cd, Zn, Au, Ag, Ir, Rh, Mo, Cr, Sn, Pb, Hg, Mn, Cu, U, Pt Co, Ni, Bi ஆகும். இதுவே **சீபெக் வரிசை** எனப்படுவது. இவ்வரிசைக்கு இரண்டு சிறப்புகள் உண்டு.

(1) சீபெக் வரிசையில் முந்தியுள்ள உலோகத்திலிருந்து பிந்தியுள்ள உலோகத்திற்கு குளிர்சந்தி வழியாக வெப்ப மின்னிரட்டையில் மின்னோட்டம் பாயும்.

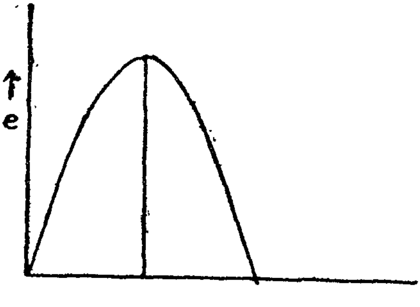
(2) இவ்வரிசையில் இரண்டு உலோகங்கள் எவ்வளவு விலகியுள்ளனவோ அவ்வளவிற்கு, அவற்றாலான வெப்ப மின்னிரட்டை

யில் (குறிப்பிட்ட வெப்பநிலை வேறுபாட்டிற்கு) பெறப்படும் மின்னியக்கு-விசையும் அதிகமாகும்.

எனவே ஆண்டிமனி, பிஸ்மத் இவற்றாலான வெப்ப-மின்னிரட்டையே குறிப்பிட்ட வெப்பநிலை-வேறுபாட்டிற்கு பெருமமான மின்னியக்கு விசையைத் தரும் என்பது தெளிவு. அத்துடன் ஆண்டிமனியிலிருந்து பிஸ்மத்திற்குக் குளிர் சந்தி வழியாக மின்னோட்டம் பாயும் என்பதும் விளங்குகிறது.

3. 4. 3 வெப்பநிலை மாற்றத்தைப் பொறுத்து மின்னியக்குவிசை மாற்றம்

வெப்ப-மின்னிரட்டையின் ஒருசந்தி மாறாத வெப்பநிலையில் இருக்க, மற்ற சந்தியின் வெப்பநிலை அதிகரித்தால் அதனில் தோன்றும் மின்னியக்கு விசையும் அதிகரிக்கிறது. வெப்பச்சந்தி குறிப்பிட்ட வெப்பநிலையை அடைந்தவுடன் மின்னியக்குவிசை பெருமமாகிறது. இந்த குறிப்பிட்ட வெப்பநிலைக்கு **திருப்பு வெப்பநிலை** (Neutral Temperature) எனப் பெயர். ஒரு குறிப்பிட்ட வெப்ப-மின்னிரட்டைக்கு அதற்கே உரிய திருப்பு வெப்பநிலை உண்டு.



படம் 3-29

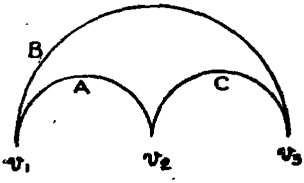
வெப்பநிலை மாறுபாடும் வெப்பமின்னியக்கு விசையும்

வெப்பச்சந்தியின் வெப்பநிலை மேலும் உயர்ந்தால், மின்னியக்கு விசை குறைந்து குறிப்பிட்ட வெப்பநிலையில் சுழியாகிறது. இந்த வெப்பநிலையை **புரட்டு வெப்பநிலை** (Temperature of Inversion) என்பர். திருப்பு வெப்பநிலைக்கு எவ்வளவு கீழே குளிர்சந்தி உள்ளதோ அவ்வளவு மேலே புரட்டு வெப்பநிலை அமையும்.

புரட்டு வெப்பநிலைக்கு மேலேயும் வெப்பச்சந்தியின் வெப்ப நிலையை உயர்த்தினால் மின்னியக்கு விசையின் திசை மாறி விடுகிறது. திருப்பு வெப்பநிலைக்கு மிகக் கீழே, மின்னியக்கு விசையானது சந்திகளின் வெப்பநிலை வேறுபாட்டிற்கு நேர் விகிதத்தில் உள்ளது. இந்தப் பண்பு மின்னிரட்டை வெப்பநிலைமானிகளில் பயன்படுகிறது.

3.4.4. இடைச்செருகு உலோகத்திற்கான விதி (Law of Intermediate Metals)

வெப்ப மின்னிரட்டையில் தோன்றும் மின்னியக்கு விசையை அளக்க ஒரு கருவியைப் பயன்படுத்துகையில் சுற்றில் மூன்றாவதான ஒரு உலோகமும் சேர்கிறது. இது நம் அளவீடுகளைப் பாதிக்காது எனக் கண்டு கொள்வதெளிது. ஏனெனில், மூன்றாவது உலோகம் சேர்கின்ற சந்திகள் சமவெப்ப நிலையில் இருப்பின் தொகுபயன் மின்னியக்குவிசை மாறாது.



படம்3-30

சுற்றில் மூன்று உலோகங்கள் A, B, C, என்பன இணைந்திருக்கட்டும். மூன்று சந்திகளிலும் தொடர்பு மின்னழுத்தங்கள் V_1, V_2, V_3 என்க. மூன்று சந்திகளும் சமவெப்பநிலையில்இருப்பின் சுற்றில் மின்னியக்கு விசை சுழியாகும். அதாவது,

$$V_1+V_2+V_3=0$$

அல்லது $V_2+V_3=-V_1$

தற்பொழுது A-க்கும் Bக்குமான சந்தியை சூடாக்கி, மற்ற இரு சந்திகளையும் சம வெப்பநிலையில் வைப்போம். சூடாக்கிய சந்தியில் தொடர்பு மின்னழுத்தம் V'_1 எனில், சுற்றிலுள்ள மின்னியக்குவிசை $e=V'_1+V_2+V_3$ ஆகும்.

ஆனால் $V_2+V_3=-V_1$ அல்லவா? ஆதலால் $e=V'_1-V_1$ எனப் பெறப்படுகிறது. C-யை நீக்கிவிட்டு, A, Bயின் மற்ற முனைகளைச் சேர்த்து இணைத்தாலும் மின்னியக்குவிசை $e=V'_1-V_1$ தானே கிடைக்கும். எனவே, ஒரு வெப்ப மின்னிரட்டை தருகின்ற மின்னியக்கு விசையானது, அதனில் மூன்றாவதாக ஒரு உலோகம், இதன் சந்திகள் சமவெப்பநிலையில் இருக்குமாறு இணைக்கப்பட்டாலும் மாறாது.

A, B என்ற இரண்டு உலோகங்களின் சந்தி சமப் பறறாக வைக்கப்பட்டாலும் ஈயமானது AB யில் விளைகின்ற மின்னியக்கு விசையைப் பாதிக்காது. அது போன்றே சுற்றில் இணைக்கப்படும் கால்வனாமீட்டரும் மின்னியக்கு விசையைப் பாதிக்காது.

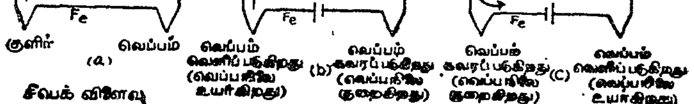
3, 4. 5. இடைவெப்பநிலைக்கான விதி (Law of Intermediate Temperatures)

ஒரு வெப்ப-மின்னிரட்டையின் சந்திகளின் வெப்ப நிலைகள் T_1 மற்றும் T_2 ஆக இருக்கும் பொழுது அதன் மின்னியக்கு விசை $e_{T_1}^{T_2}$ என்றும்; T_2 மற்றும் T_3 ஆக இருக்கும் பொழுது $e_{T_2}^{T_3}$ என்றும் பெறப்படுமானால், வெப்ப நிலைகள் T_1 மற்றும் T_3 ஆக இருக்கும் பொழுது மின்னியக்கு விசை $e_{T_1}^{T_3} = e_{T_1}^{T_2} + e_{T_1}^{T_3}$ ஆகும். வெப்ப நிலை இடைவெளிகள் எத்தனையானாலும் இந்த கூற்று பொருந்தும். எனவே இடை வெப்பநிலைகளுக்கான விதியானது:

ஒரு குறிப்பிட்ட வெப்பநிலை இடைவெளியை பல கூறுகளிட ஒவ்வொரு கூறும் தரக்கூடிய மின்னியக்கு விசைகளின் கூட்டுத் தொகையானது அக்குறிப்பிட்ட வெப்பநிலை இடைவெளி தரக்கூடிய மின்னியக்கு விசைக்கு சமமாகும்.

3. 4, 6. பெல்டியர் விளைவு (Peltier Effect)

சீபெக் விளைவின் மறுதலையை பெல்டியர் 1834-ல் கண்டு பிடித்தார். ஒரு வெப்ப மின்னிரட்டை வழியே மின்கலம் ஒன்றி



படம் 3 - 31
பெல்டியர் விளைவு

லிருந்து மின்னோட்டம் செலுத்தப்படும்பொழுது ஒரு சந்தியில் வெப்பம் கவரப்படுகிறது; மற்றதில் வெப்பம் வெளிப்படுகிறது இதுவே **பெல்டியர் விளைவு** ஆகும்.

வெப்ப மின்னிரட்டையில் சாதாரணமாக மின்னோட்டம் பாயும் திசையிலேயே மின்கலம் செலுத்துகின்ற மின்னோட்டமும் பாயுமானால், குளிர் சந்தியில் வெப்பம் வெளிப்படுகிறது. வெப்ப சந்தியில் வெப்பம் கவரப்படுகிறது. மின்கலம் மின்னோட்டத்தின் திசை மாற்றப்பட்டால், சந்திகளில் ஏற்படுகின்ற சூடாக்கும் மற்றும் குளிர்விக்கும் விளைவுகளும் மாறிவிடுகின்றன.

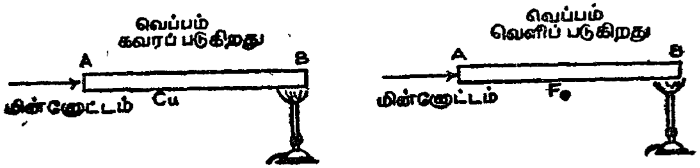
பெல்டியர் விளைவை எலக்ட்ரான் கொள்கையினடியாக விளங்கிக் கொள்ளலாம்; இரு வேறு உலோகங்கள் இணைப்பு பெறும்பொழுது அவற்றிடையே தொடர்பு மின்னழுத்தம் ஏற்படுகிறது. எனவே, அந்த உலோகங்களின் சந்தியில் ஒரு மின்புலம் உள்ளது. இந்த மின்புலத்திற்கு எதிராக அல்லது இசைவாக மின்னூட்டங்கள் செல்ல வேலை செய்யப்பட வேண்டும். மின்கலமானது மின்னூட்டங்களை மின்புலத்திற்கு எதிராகச் செலுத்தும் பொழுது அதற்கான ஆற்றல் இழப்பால் சந்தி குளிர்கிறது. மின்னூட்டங்கள் மின்புலத்திற்கு இசைவாகச் செல்லும்பொழுது மின்னோட்டமானது வேலை செய்கிறது. இந்த ஆற்றல் சந்திப்பு வழியாக வெளியாவதால் அந்த சந்திப்பு சூடாகிறது.

ஒரு சந்திப்பில் வெளிப்படும் அல்லது கவரப்படும் வெப்பம் அச்சந்தி வழியாகப் பாயும் மின்னூட்ட அளவுக்கு (மின்னோட்டம் × நேரம் = it) நேர் விகிதத்திலுள்ளது. வெளிப்படுகின்ற அல்லது கவரப்படுகின்ற வெப்பம் πit க்குச் சமமாகும். இங்கு π-யை பெல்டியர் குணகம் என்றழைப்பர். **உலோகச் சந்தியில் ஓரலகு மின்னோட்டம் ஒரு செகண்டு பாய்வதால் வெளிப்படுகின்ற அல்லது கவரப்படுகின்ற வெப்பம் பெல்டியர் குணகம் (Peltier Coefficient)** ஆகும். சந்தியின் வெப்ப நிலையைப் பொருத்து பெல்டியர் குணகம் மாறுபடும்.

3. 4 7. தாம்சன் விளைவு (Thomson Effect)

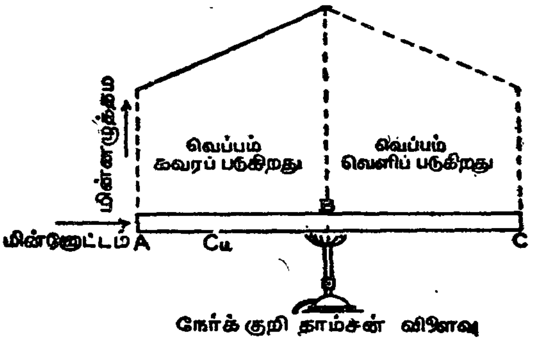
ஒரே உலோகத்தின் வெவ்வேறு பகுதிகளின் வெப்ப நிலைகள் வேறுபட்டால், அதன் வழியே மின்னோட்டம் பாயும்பொழுது அந்த உலோகத்தின் நெடுகிலும் வெப்பம் வெளிப்படலாம் அல்லது கவரப்படலாம். இந்த விளைவு **தாம்சன் விளைவு** எனப்படும். எடுத்துக்காட்டாக, செப்புத்தண்டு AB-யில் A முனை குறைவான வெப்ப நிலையில் உள்ளது. அதன் B முனை உயர்ந்த வெப்ப நிலையில் உள்ளது. இதனால் A-யிலிருந்து Bக்கு மின்னோட்டம் பாயுமானால்

அதன் நெடுகிலும் வெப்பம் கவரப்படுகிறது. மின்னோட்டம் திசை மாறினால் வெப்பம் வெளிப்படுகிறது. (படம் 3-32).



படம் 3-32
தாம்சன் விளைவு

ABC என்ற செப்புத்துண்டு, B-யில் சூடாக்கப்பட்டு A-யிலிருந்து C-க்கு மின்னோட்டம் செலுத்தப்படுகிறது. அப்பொழுது

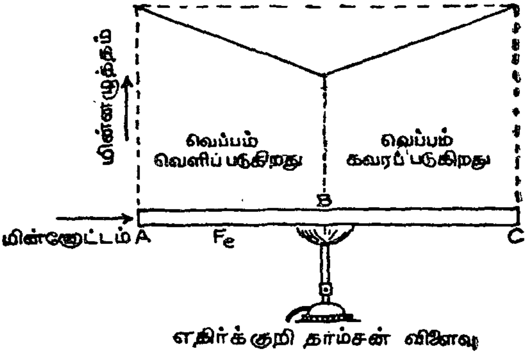


படம் 3-33
நேர்க்குறி தாம்சன் விளைவு

A-க்கும் B-க்கும் இடையில் வெப்பம் கவரப்படும் ; B-க்கும் C-க்கும் இடையில் வெப்பம் வெளிப்படும். அதாவது, A-யைவிட C அதிகமான வெப்ப நிலையில் இருக்கும். இது **நேர்க்குறி தாம்சன் விளைவு** (Positive Thomson Effect) எனப்படும் (படம் 3-33).

மேற்சொன்னதற்கு எதிரான விளைவு இரும்புத்தண்டில் ஏற்படுகிறது. அதாவது இரும்புத்தண்டில் B சூடாக்கப்பட்டு A-யிலிருந்து C-க்கு B வழியாக மின்னோட்டம் பாயும்பொழுது AB நெடுகிலும் வெப்பம் வெளிப்படுகிறது ; BC நெடுகிலும் வெப்பம் கவரப்படுகிறது. அதாவது C-யைவிட A அதிகமான வெப்ப நிலையில் இருக்கும்.

இது எதிர்க்குறி தாம்சன் விளைவு (Negative Thomson Effect) எனப்படும் (படம் 3-34 காண்க).



படம் 3-34
எதிர்க்குறி தாம்சன் விளைவு

Cu, Cd, Zn, Ag, Sb என்பன நேர்க்குறி தாம்சன் விளைவையும், Fe, Pt, Bi, Co, Ni என்பன எதிர்க்குறி தாம்சன் விளைவையும் தருகின்றன. காரீயத்தில் தாம்சன் விளைவு தோன்றுவதில்லை.

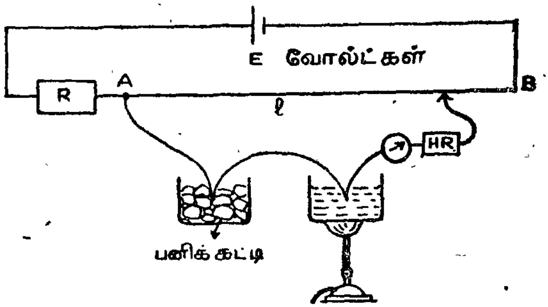
1 K வெப்பநிலை வேறுபாடுடைய இரண்டு புள்ளிகளுக்கிடையே ஒரு கடத்தி வழியாக ஒரு செகண்டுக்கு ஓரலகு மின்னோட்டம் பாயும் பொழுது வெளிப்படுகின்ற அல்லது கவரப்படுகின்ற வெப்ப ஆற்றல் தாம்சன் குணகம் (Thomoson Coefficient) எனப்படும். தாமிரத்தின் தாம்சன் குணகம் நேர்க்குறியுடையது ; இரும்பின் தாம்சன் குணகம் எதிர்க்குறியுடையது. காரீயத்தின் தாம்சன் குணகம் சுழியாகும்.

சீபெக், பெல்டியர் மற்றும் தாம்சன் விளைவுகளின் தொகுபயனே வெப்ப-மின் விளைவு (Thermo-electic Effcct) ஆகும்.

3. 4. 8. வெப்ப-மின்னியக்கு விசையை அளத்தல் — மின்னழுத்த மானி

வெப்ப - மின்னியக்கு விசைகள் மில்லிவோல்ட் அளவில்தான் கிடைக்கின்றன. எனவே மின்னழுத்தமானியின் கம்பியில் உள்ள மின்னழுத்த இறக்கம் ஒரு சில மில்லிவோல்ட்களாகுமாறு சீரமைக்க வேண்டும். சாதாரணமாக பத்து கம்பிகளுடைய மின்னழுத்தமானியில் மின்னழுத்த இறக்கம் 1 மி மீ. நீளத்திற்கு 1 மைக்ரோவோல்ட் எனச் சீரமைக்கப்படுகிறது.

மின்னழுத்தமானியின் கம்பி, ஒரு மின்தடைப் பெட்டி R, E வோல்ட் தரும் மின்கலம் ஆகியன தொடராக இணைக்கப்படுகின்றன.



படம் 3 - 35

மின்னழுத்தமானி—வெப்பமின்னியக்கு விசையை அளவிடல்

மின்னழுத்தமானிக் கம்பியின் மின்தடை P ஓம் என்க. கம்பியில் தேவைப்படும் மின்னழுத்த இறக்கம் 1மிமீ.க்கு ஒரு மைக்ரோவோல்ட் என்க. 10 மீட்டர் கம்பியில் மொத்த மின்னழுத்த இறக்கம் 0·01 வோல்ட் ஆகும்; அதாவது P ஓம்களில் ஏற்படும் மின்னழுத்த இறக்கம் 0·01 வோல்ட் எனவே மின்னழுத்தமானிக் கம்பியில் மின்னோட்டம் $= \frac{0 \cdot 01}{P}$ ஆம்பியர், கம்பியுடன் தொடராக மின்தடை R ஓம் சேர்க்கப்பட்டால், முழுச். சுற்றிலும் மின்னோட்டம் $= \frac{E}{R+P}$ ஆம்பியர். எனவே $\frac{E}{R+P}$ ஆனது $\frac{0 \cdot 01}{P}$ க்குச் சமமாக வேண்டும், அல்லது

$$R + P = 100\,EP$$

அல்லது $$R = 100\,EP - P \text{ ஓம்}$$

R-ன் இந்த மதிப்பு கணக்கிடப்பட்டு மின்தடைப் பெட்டி R-ல் சேர்க்கப்படுகின்றது. தற்பொழுது ஒரு மில்லிமீட்டருக்கு ஒரு மைக்ரோ வோல்ட் என மின்னழுத்த இறக்கம் பெறப்படும்.

இச்சீரமைப்புக்குப் பின், படம் 3-35-ல் காண்பது போல் வெப்ப மின்னிரட்டை இணைக்கப்படுகிறது. குளிர் சந்தியானது உருகும் பனிக்கட்டியிலும், வெப்பசந்தி ஒரு நீர்த்தொட்டியிலும் மூழ்கி வைக்கப்படுகின்றன. நீர்த்தொட்டியைச் சூடேற்றுவதால் சந்தியின் வெப்பநிலையை உயர்த்தலாம். வெப்பசந்தியை பல்வேறு வெப்ப நிலைகளில் வைத்து மின்னழுத்தமானியில் சரியீட்டு நீளங்கள்

அளக்கப்படுகின்றன. இந்த நீளங்களிலிருந்து மின்னியக்கு விசையைக் கணக்கிட்டுக் கொள்ளலாம்.

வெப்ப மின்னியக்கு விசையைச் சரியீடு செய்யும் நீளம் l செமீ எனில் வெப்ப-மின்னியக்கு விசை $= l \times 10$ மைக்ரோ வோல்ட் ஆகும். சந்திகளின் வெப்பநிலை வேறுபாட்டை X ஆயத்திலும், வெப்ப-மின்னியக்கு விசையை Y ஆயத்திலும் கொண்டு வரைபடம் வரையலாம்.

3. 5. துணை மின்கலங்கள்

டேனியல் மின்கலம், லெக்லாஞ்சி மின்கலம் என்பன முதன்மை மின்கலங்கள். இவற்றில் நிகழும் வேதி வினைகளிலிருந்து மின்னாற்றல் பெறப்படுகிறது. அப்பொழுது அவற்றிலுள்ள வேதியியல் பொருள்கள் செலவாகின்றன. இப்படிச் செலவாகும் வேதியியல் பொருள்களை அவ்வப்பொழுது இட்டு நிரப்பவேண்டியுள்ளது. அத்துடன் அவற்றிலிருந்து மின்னோட்டத்தை நீண்ட நேரத்திற்குத் தொடர்ச்சியாகப் பெற இயலாது. இவ்விரண்டு குறைகளும் துணைமின்கலம் என்ற அமைப்பிலிருந்து நீக்கப்பட்டுள்ளன.

துணைமின்கலத்தைச் (Secondary Cell) சேமிப்பு மின்கலம் அல்லது மின்சேமக்கலம் என்றழைப்பதுண்டு.

ஒரு துணைமின்கலத்தில் உள்ள மின்பகு பொருளில் இரண்டு மின்வாய்கள் மூழ்கியுள்ளன. மின்பகு பொருள் வழியாக புறமின் மூலத்திலிருந்து மின்னோட்டம் செலுத்தப்படும்பொழுது மின்னாற்பகுப்பு நிகழ்கிறது; மினனோட்டத்தைச் செலுத்தும் பொழுது மின் கலத்தில் வேதியல் வினைகள் நிகழ்கின்றன. மின்னாற்றல் மின்கலத்தில் வேதியியல் ஆற்றலாகச் சேமிக்கப்படுகிறது. இந்நிலையில் மின் கலம் மின்னேற்றம் பெற்றுள்ளதாகக் கருதப்படுகிறது. எனவே கலத்தின் உள்ள மின்வாய்களிடையே மின்னியக்குவிசை தோன்றுகிறது.

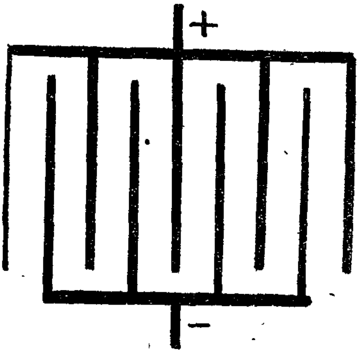
கலத்திலிருந்து மின்னோட்டம் பெறப்படும்பொழுது வேதியியல் வினைகள் எதிர்த் திசையில் நிகழ்கின்றன; சேமிக்கப்பட்டிருந்த வேதியியல் ஆற்றல் மின்னாற்றலாக மாற்றப்படுகிறது.

துணைமின்கலங்களில் இரு முக்கிய வகைகள் உண்டு; இவை (i) காரீய அமில சேமக்கலம் (Lead - Acid Accumulator) மற்றும் (ii) கார சேமக்கலம் (Alkali Accumulator) என்பன.

3.5·1. காரீய-அமில சேமக்கலம்

இதனில் எதிர்மின்வாயாக காரீயமும்(Pb) நேர்மின்வாயாக காரீய (II) ஆக்சைடும் (PbO_2) பயன்படுகின்றன. இரண்டு மின்வாய்களும் நீர்த்த கந்தக அமிலத்தில் மூழ்கியுள்ளன. கந்தக அமிலத்தின் ஒப்பு அடர்த்தி 1·25 ஆகும்.

ஒரே கலத்தினுள் எதிர்மின்வாய், நேர்மின்வாய் என மாறி மாறி பல மின்வாய்த் தகடுகள் பொருந்தியுள்ளன; ஆகவே பேட்டரியின் அகவின் தடை குறைகிறது. எல்லா நேர்மின்வாய்களும் ஒரு காரீயத் தண்டுடன் இணைக்கப் படுகின்றன. அதேபோல் எல்லா எதிர்மின்வாய்களும் வேறொரு காரீயத் தண்டுடன் இணைக்கப் படுகின்றன. இந்த தண்டுகளே கலத்திற்கு வெளியே தெரிகின்ற நேர் மற்றும் எதிர்மின்வாய்களாகும். மின்வாய்த் தகடுகளுக் கிடையே அவற்றை விலக்கி இருத்த மெல்லிய மரப் பலகைகள் உண்டு. எதிர்மின்வாய்கள் சாதாரணமான தகடுகளாக உள்ளன; நேர்மின்வாய்கள் காரீயத் தாலான வலைத் தகட்டில் PbO_2 பசை நிரப்பப்பட்டவை.



படம் 3 - 33
காரீய-அமில சேமக்கலம் — விளக்கம்

மின்கலத்தில் நிகழும் வினைகளைப் பின்வருமாறு கூறலாம். மின்பகு பொருளான கந்தக அமிலம் (H_2SO_4) கரைசலில் நேர் அயனிகளாகவும், எதிர் அயனிகளாகவும் பிரிகிறது. நேர்அயனிகள் ஹைட்ரஜன் அயனிகள் ஆகும்; எதிர் அயனிகள் சல்பேட் அயனிகள் ஆகும். மின்னோட்டம் புறச்சுற்றில் பாயும் பொழுது, ஹைட்ரஜன் அயனிகள் நேர்மின்வாயை நோக்கி நகர்கின்றன; அப்பொழுது நிகழும் வேதி வினைகளைப் பின்கண்ட சமன்பாடுகள் விளக்கும்:

நேர்மின்வாயில் : $PbO_2 + 2H + H_2SO_4 \longrightarrow PbSO_4 + 2H_2O$

எதிர்மின்வாயில் : $Pb + SO_4 \longrightarrow PbSO_4$

மின்கலம் மின்னோட்டத்தைத் தரும் பொழுது இரண்டு மின்வாய்களுமே $PbSO_4$ ஆக மாறுகின்றன, கலத்தினுள் நீர் உருவாவதால் அமிலத்தின் ஒப்பு அடர்த்தி குறைகிறது, அமிலத்தின் ஒப்பு அடர்த்தி 1·18க்கும் மின்கலத்தி மின்னியக்கு விசை 1·8

வோல்ட்டுக்கும் குறையும் பொழுது மின்கலம் முற்றிலும் மின்னிறக்கம் செய்து விட்டது; ஆகையால் மீண்டும் மின்னேற்ற வேண்டும்.

மின்கலத்தை மீண்டும் மின்னேற்றம் செய்ய அதன் வழியே மின்னோட்டத்தை புறமூலத்திலிருந்து செலுத்தவேண்டும். புற மூலத்தின் நேர்மின்வாய் மின்கலத்தின் நேர்மின்வாயுடன் இணைக்கப் படவேண்டும். அப்பொழுது மின் கலத்தினுள் செலுத்தப்படும் மின்னோட்டமானது அது தரக்கூடிய மின்னோட்டத்திற்கு எதிர்த்திசையில் அமையும்.

மின்னேற்றம் செய்யும்பொழுது நிகழும் வேதி வினைகளாவன:

நேர்மின்வாயில்: $PbSO_4 + SO_4 + 2H_2O \longrightarrow PbO_2 + H_2SO_4$.

எதிர்மின்வாயில்: $PbSO_4 + 2H \longrightarrow Pb + H_2SO_4$.

மின்கலம் முழுமையாக மின்னேற்றம் பெற்றவுடன் அதன் மின்னியக்கு விசை 2·2 வோல்ட் இருக்கும். ஆனால் அது சீக்கிரமே 2 வோல்ட்டுக்குக் குறைந்து பின்னர் நீண்ட நேரத்திற்கு மாறாது இருக்கும். முன்னேற்றம் செய்யும் பொழுது H_2SO_4 உருவாவதால் அமிலத்தின் ஒப்பு அடர்த்தி அதிகரிக்கிறது. மின்கலம் முழுமையாக மின்னேற்றம் பெற்றுள்ள பொழுது ஒப்பு அடர்த்தி 1·25 இருக்க வேண்டும்.

மின்கலத்தின் மின்னியக்கு விசை 1·8 வோல்ட்டுக்குக் கீழும் அதனின் ஒப்பு அடர்த்தி 1·18க்கும் கீழும், இறங்க விடவே கூடாது. அப்படிக் குறைந்து விட்டால் அதனை மீண்டும் முழுமையாக மின்னேற்றம் செய்ய இயலாது; அத்துடன் அதன் திறைமையும் குறைந்துவிடும்.

மின்கலத்தினுள் உள்ள மின்வாய்த் தகடுகளின் எண்ணிக்கையை உயர்த்தினால் மின்வாய்களின் பயன்தரு பரப்பு அதிகரிக்கிறது. இதனால் மின்கலத்தின் மின்னோட்டக் கொள்திறனும் அதிகரிக்கிறது. கொள்திறனை **ஆம்பியர்-மணிகளில்** கூறுவர். முழுமையாக மின் னேற்றம் பெற்ற மின்கலத்திலிருந்து பெறக்கூடிய மொத்த மின்னூட்ட மதிப்பை ஆம்பியர்-மணி என்பது குறிக்கும். ஒரு மின்கலத்தின் கொள்திறன் 40 ஆம்பியர் - மணி என்றால் அதிலிருந்து 1 ஆம்பியர் மின்னோட்டத்தை 40 மணி நேரத்திற்குப் பெறலாம் அல்லது 2 ஆம்பியர் மின்னோட்டத்தை 20 மணி நேரத்திற்குப் பெறலாம் என்று பொருள்படும்.

ஒவ்வொரு மின்கலத்திலிருந்து பெறக்கூடிய மின்னோட்டத்திற்கு உச்சவரம்பு உண்டு. இந்த உச்சவரம்பிற்கு அதிகமான மின்னோட்டத்தை அதிலிருந்து பெறமுயலுவது பெருந்தவறு; அப்படி முயன்றால் மின்கலம் பாழாகும், மின்கலத்தின் அகமின்தடை மீக்குறைவு (0·01 ஓம்); ஆதலால் அதனில் குறுக்குத்தடம் (short circuit) ஏற்பட விடக்கூடாது. குறுக்குத் தடம் ஏற்பட்டால் மின்கலம் பாழாகும்.

மின்கலத்திலுள்ள மின்வாய்த் தகடுகள் அமிலத்திற்குள் எப்பொழுதும் மூழ்கியிருக்கவேண்டும். தேவையானால் வாலைவடி நீர் சேர்த்து அமிலமட்டத்தை உயர்த்தலாம்.

நன்கு மின்னேற்றம் பெற்ற மின்கலத்தையே பயன்படுத்த வேண்டும். நீண்ட நாட்களுக்கு மின்கலத்திற்கு உபயோகம் இல்லையெனில் அதனிலிருந்து அமிலத்தை வெளியேற்றி விடலாம். மின்னிறங்கிய நிலையில் நீண்ட நாட்களுக்கு இருக்குமாறு விடுதலும் கூடாது; அவ்வப்பொழுது மின்னேற்றம் செய்துவிடவேண்டும்.

ஆய்வுக்கூடத்தில் மாறாமதிப்புடைய மின்னழுத்தம் தேவைப்படும் சோதனைகளில் மின்கலம் பயன்படுகிறது. (எடுத்துக்காட்டாக மின்னழுத்தமானி சோதனைகள்). கார், பேருந்து, மோட்டார் சைக்கிள் போன்ற தானியங்கிகளில் என்ஜினை ஆரம்பத்தில் இயக்கவும் பின்னர் எரியூட்டலுக்கும் (ignition), விளக்குகளுக்கும் பயன்படுகிறது, மின்சாரத்தடை ஏற்பட்டால் அவசரத்திற்கு உதவவும் மிகப்பெரிய மின்கலங்கள் உள்ளன.

3. 5. 2 எ சன் கார மின்கலம் (Edison Alkali Battery)

இதனை நிக்கல் - இரும்பு (Ni - Fe) மின்கலம் என்றழைப்பதுமுண்டு. நேர்மின்வாய்த்தகடுகளில் Ni_2O_3 வேதிப்பொருள் உள்ளது. எதிர் மின்வாய்த் தகடுகளில் மிகச்சன்னமான இரும்புத்தூள் உள்ளது. இரண்டு மின்வாய்களிலும் வினை புரியும் பொருட்கள் எஃகு வலைப் பொட்டலங்களில் வைக்கப்பட்டுள்ளன. எனவே இந்த மின்கலத் தகடுகள் அமில மின்கலத்திலுள்ள தகடுகளைவிட வலிமையானவை. ஒப்பு அடர்த்தி 1 2 உடைய பொட்டாசியம் ஹைட்ராக்சைடு கரைசல் மின்பகுபொருள் ஆகும் கலத்தினுள் காற்றுப் புகாவண்ணம் அமைக்கப்பட்டுள்ளது; இல்லையெனில் KOH காற்றைக் கவர்வதால் திரிந்துவிடும். மின்னிறக்கம் நிகழும்பொழுது Ni_2O_3 ஆனது NiO ஆக மாறுகிறது; இரும்பானது இரும்பு ஆக்சைடு (FeO) ஆக மாறுகிறது. மின்னேற்றம் செய்யும்பொழுது இந்த வேதியியல் வினைகள் எதிர்த் திசையில் நிகழ்கின்றன. மின்பகுபொருளில் எந்த மாற்றமும் இல்லை.

காரமின்கலம் அமில மின்கலத்தைவிட இலேசானது; அத்துடன் வலிமையானது; பயன்படுத்த எளிமையானது. நீண்ட நாட்களுக்கு பயன்படுத்தாவிட்டாலும், அதிகமான மின்னோட்டம் பெறப் பட்டாலும் மின்கலம் கெடுவதில்லை. ஆனால் இதன் மின்னியக்கு விசை 1·35 வோல்ட்டுதான்; அதோடு மின்னிறக்கம் நிகழ்கையில் மின்னியக்கு விசையும் சீக்கிரமாகக் குறைந்து விடும்.

கேள்விகள்

1. மின்கடத்தியின் மின்தேக்கு திறன் என்பதை வரையறுக்க.
2. மின்தேக்கியின் தத்துவத்தை விளக்குக.
3. மூன்று மின்தேக்கிகளின் மின்தேக்கு திறன்கள் முறையே C_1, C_2, C_3 ஆகும். இவை மூன்றும் (i) தொடர் இணைப்பில் (ii) பக்க இணைப்பில் உள்ள பொழுது இவற்றின் தொகு மின்தேக்கு திறனுக்கான கோவைகளைத் வருவிக்க.
4. சமமான மின்தேக்கு திறன்களுடைய இரண்டு மின்தேக்கிகள் பக்க இணைப்பில் உள்ளபொழுது பெறப்படும் தொகுமின்தேக்கு திறனானது, அவையே தொடரிணைப்பில் உள்ள பொழுது பெறப்படும் தொகு மின்தேக்கு திறனைப் போல நான்கு மடங்காகும் என நிறுவுக.
5. 5, 10 மற்றும் 20 மைக்ரோஃபாரட் மின்தேக்கு திறனுடைய மூன்று மின்தேக்கிகள் தொடரிணைப்பில் உள்ளன. அவற்றின் தொகு மின்தேக்கு திறனைக் கணக்கிடுக.
6. மூன்று மின்தேக்கிகளின் மின்தேக்கு திறன்கள் 1 : 2 : 3 என்ற விகிதத்தில் உள்ளன. பக்க இணைப்பில் இவை தருகின்ற தொகுமின்தேக்கு திறனானது இவை தொடரிணைப்பில் தருகின்ற தொகு மின்தேக்கு திறனைவிட $10\frac{10}{11}$ மைக்ரோஃபாரட் அதிகம். ஒவ்வொரு மின்தேக்கியின் மின்தேக்கு திறனையும் கணக்கிடுக.
7. இணைத் தகடு மின்தேக்கியொன்றின் மின்தேக்கு திறன் $2\mu f$. தகடுகளிடையே உள்ள மின்கடத்தாப் பொருள் காற்று ஆகும். தகடுகளுக்கிடையே தொலைவு $1\frac{1}{2}$ மடங்காக்கப்பட்டு, காற்றுக்குப் பதிலாக, விடுதிறன் 6 உடைய மின்கடத்தாப் பொருள் நிறைக்கப்படுகிறது. தற்பொழுது மின்தேக்கு திறன் என்னவென்று கணக்கிடுக.
8. $4\mu f$ மின்தேக்கு திறனுடைய மின்தேக்கிக்கு 4 வோல்ட் மின்னழுத்தம் தரப்படுகிறது. அது பெறுகின்ற அளவு

மின்னூட்டத்தையே அதைப் போல் இரு மடங்கு மின்தேக்கு திறனுடைய மின்தேக்கிக்கு அளித்தால் இரண்டாவது மின் தேக்கியின் மின்னழுத்தம் என்ன?

9. இணைத்தகடு மின்தேக்கியொன்றின் மின்தேக்கு திறன் 0·002 μf. இத்தகடுகளில் இடைத்தொலைவு 0·05 மிமீ. தகடுகளுக்கிடையே உள்ள மின்கடத்தாப் பொருளின் சார்பு விடுதிறன் 2·5. தகட்டின் பரப்பளவு என்ன?

$$\left(\epsilon_0 = 8{\cdot}87 \times 10^{-12} \ \frac{\text{கூலூம்}^2}{\text{நியூட்டன் - மீட்டர்}^2}\right)$$

10. வான் டி கிராஃப் இயற்றியின் செயல்பாட்டை விளக்குக.

11. ஒளிவட்ட மின்னிறக்கம் என்பதென்ன?

12. இடிதாங்கியின் செயல்பாட்டை விளக்குக.

13. 3 ஓம மின்தடை, மற்றும் 2 வோல்ட் மின்னியக்குவிசையுடன் தொடரிணைப்பாக 6 ஓம், 4 ஓம் என்ற இரண்டு மின் தடைகள் உள்ளன. இச்சுற்றில் பாயும் மின்னோட்டத்தைக் கணக்கிடுக.

14 3 ஓம், 2 ஓம் மின் தடைகள் பக்க இணைப்பில் உள்ளன. இவையே, பக்க இணைப்பில் உள்ள 4 ஓம், 2 ஓம் மின் தடைகளுடனும் 2 வோல்ட் மின்னியக்க விசையுடனும் தொடரிணைப்பில் உள்ளன. சுற்றில் பாயும் மின்னோட்டத்தைக் கணக்கிடுக.

15. கிர்க்காஃப் விதிகளைக் கூறுக; அவற்றை விளக்குக.

16. வீட்ஸ்டோன் சமனச் சுற்றில் கால்வனா மீட்டரில் சுழிவிலகலுக்கான நிபந்தனையைத் வருவிக்க.

17. மீட்டர் சமனச் சுற்றின் இடது இடைவெளியில் மின்தடை P-யும், வலது இடைவெளியில் 3 ஓம் மின்தடையும் இணைக்கப்பட்டுள்ளன. முனை A-யிலிருந்து 42 செமீ. தொலைவில் உள்ள புள்ளி D-யில் தொடுகோல் இணையும்பொழுது தான் கால்வனாமீட்டரில் விலகல் இல்லை. (படம்3—13) P-ன் மதிப்பு என்ன?

18. மின்னழுத்தமானியில் முறையே 614·8 செமீ. 824·4 செமீ. சரியீட்டு நீளங்களைத் தருகின்ற இரண்டு மின்கலங்களின் மின்னியக்கு விசைகளை ஒப்பிடுக.

19. R_1, R_2 என்ற மின்தடைகள் தொடராக இணைக்கப்பட்டு அவை வழியே மின்னோட்டம் *i* செலுத்தப்படுகிறது. R_1, R_2-ல் உள்ள மின்னழுத்தங்கள் முறையே 573·2 செமீ., 838·9 செமீ, சரியீட்டு நீளங்களைத் தந்தால், $\frac{R_1}{R_2}$ என்ற விகிதத்தைக் கணக்கிடுக.

20. படித்தர மின்தடை 2 ஓம் வழியாக மின்னோட்டம் *I* பாய்கிறது. இந்த மின்தடையில் உள்ள மின்னழுத்தம் ஒரு மின்னழுத்தமானியில் 722·8 செமீ சரியீட்டு நீளத்தைக் தருகிறது. 1·08 வோல்ட் மின்னியக்கு விசையுடைய டேனியல் செல் 642·4 செமீ. சரியீட்டு நீளத்தை அதே மின்னழுத்தமானியில் தருகிறது. *I*-ன் மதிப்பைக் கணக்கிடுக.

21. காந்தப் புலத்தில் ஒரு புள்ளியில் காந்த அழுத்தம் என்பதை வரையறுக்க.

22. m ஆம்பியர்-மீட்டர் வலிமையுடைய (புறத் தொடர்பற்ற) தனித்த வடதுருவத்திலிருந்து தொலைவில் *x*-ல் உள்ள புள்ளியில் காந்த அழுத்தம் என்ன?

23. காந்த திருப்புத்திறன் *M* ஆம்பியர்-மீட்டர், நீளம் *l* மீட்டர் உடைய சட்ட காந்தத்தின் அச்சுக் கோட்டின் மீது அதன் மையத்திலிருந்து *x* தொலைவில் உள்ள புள்ளியில் காந்த அழுத்தம் என்ன?

24. சட்ட காந்தத்தின் நடுவரைக் கோட்டில் உள்ள புள்ளியில் காந்த அழுத்தம் யாது?

25. திருப்புத்திறன் *M* உடைய காந்தத்தின் நடுவரைக் கோட்டின் மீது அதன் மையத்திலிருந்து 15 செமீ., 10 செமீ தொலைவுகளிலுள்ள புள்ளிகளிடையே ஓரலகு வடதுருவத்தை நகர்த்துவதற்குச் செய்யவேண்டிய வேலையின் அளவு யாது?

26. டேஞ்சன்ட் விதி யாது?

27 Tan—*A* நிலை, Tan—*B* நிலை என்பனவற்றின் பொருள் என்ன?

28. விலகு காந்தமானியைப் பயன்படுத்தி இரண்டு சிறிய சட்ட காந்தங்களின் திருப்புத்திறன்களை எவ்வாறு ஒப்பிடுவாய்?

29. திருப்புத்திறன் M-ம், நிலைமத் திருப்பு திறன் I-ம் உடைய ஒரு காந்தம் ஒருகாந்தப் புலம் B-யில் தொங்கவிடப் பட்டு அலைவுறுகிறது. அதனுடைய அலைவுகளுக்கான இயக்கச் சமன்பாட்டைத் தருவிக்க.

30. காந்தப் புலம் B-யில், காந்தத் திருப்புத்திறன் M-ம் நிலைமத் திருப்புதிறன் I-ம் உடைய காந்தம் அலைவுறு கின்றது. அதன் அலைவு நேரத்திற்கான வாய்பாடு யாது ?

31. சீபெக் விளைவு என்பதென்ன ?

32. பெல்டியர் விளைவு என்பதென்ன ?

33. வரையறுக்க : பெல்டியர் குணகம்.

34. தாம்சன் விளைவு என்பதென்ன ?

35. நேர்க்குறி தாம்சன் விளைவுக்கும், எதிர்க்குறி தாம்சன் விளைவுக்குமான வேறுபாடு என்ன ?

36. திருப்பு வெப்பநிலை என்பதென்ன ?

37. புரட்டு வெப்பநிலை என்பதென்ன ?

38. துணை மின்கலங்கள் என்றால் என்ன ?

39. காரீய அமில சேமக்கலம் என்பதன் அமைப்பை விளக்குக. அது எவ்வாறு செயல் படுகிறது ?

40. எடிசன் கார சேமக்கலம் என்பது என்ன ? அது எவ்வாறு செயல்படுகிறது ?

41. கார சேமக்கலம் அமில சேமக்கலத்தை எவ்விதங்களில் சிறந்தது ?

4. மின்காந்தக் கதிர்வீச்சுகள்

4.1. மெல்லிய லென்சுகள்

சமதளங்களில் ஒளிவிலகல் நிகழ்வதைப் பற்றிப் படித்திருக்கிறோம். கோளக தளங்களில் ஒளிவிலகல் நிகழ்வதாலேயே லென்சுகள் பிம்பத்தைத் தோற்றுவிக்கின்றன. சமதளங்களில் நிகழும் ஒளிவிலகலுக்கான விதிகள் கோளக தளங்களில் நிகழும் ஒளிவிலகலுக்கும் முற்றிலும் பொருந்தும். கோளக தளங்களில் நிகழும் ஒளிவிலகலுக்கான கணக்கீடுகளைச் செய்யும்பொழுது எளிமைக்காக் பின்கண்ட எடுகோள்களைக் கொள்கிறோம்:

1. படுகின்றன ஒளியானது ஒரே நிறமுடையது.
2. படுகின்ற ஒளிக்கதிர் கற்றையானது மெல்லியதாகவும் அச்சுக்கு இணையாகவும் செல்லும்.

மேலும், தொலைவுகளை அளக்கச் சில மரபுகளைப் பின்பற்றுகிறோம். இந்த மரபுகள் கீழே விளக்கப்படுகின்றன.

4.1.1. குறியீட்டு மரபு

ஒளி விலகல் நிகழும் தளத்திலிருந்து தொலைவுகள் அளக்கப்படுகின்றன. இத் தொலைவுகளுக்கான குறிகள் பின்வருமாறு:

(1) மெய்யான பொருட்கள், மெய்யான பிம்பங்கள் இவற்றின் தொலைவுகள் நேர்க்குறி உடையன.

(2) மாயப் பொருள்கள், மாய பிம்பங்கள் இவற்றின் தொலைவுகள் எதிர்க்குறி உடையன.

மேலும் ஒரு வளைதளத்தின் வளைவு ஆரத்தைப் பற்றிய குறியீட்டு மரபு வருமாறு:

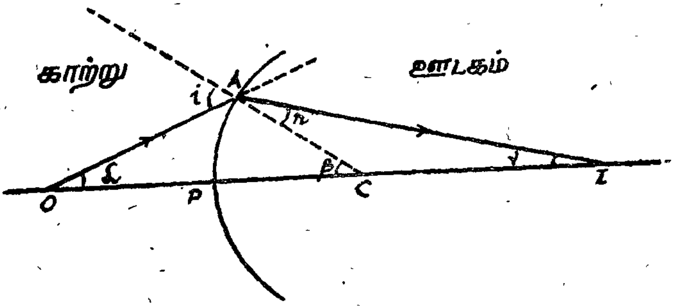
(1) தன்மீது படுகின்ற கதிர்களை ஒரு வளைதளம் குவிக்குமானால் அத்தளத்தின் வளைவு ஆரம் நேர்க்குறி உடையது.

(2) தன்மீது படுகின்ற கதிர்களை ஒரு வளைதளம் விரிக்குமானால் அத்தளத்தின் வளைவு ஆரம் எதிர்க்குறி உடையது. எனவே அடர்குறை ஊடகத்தின் பக்கமாக புடைத்துள்ள தளம் நேர்க்குறி ஆரம் உடையது; அடர்குறை ஊடகத்தின் பக்கமாகக் குழிந்துள்ள தளம் எதிர்க்குறி ஆரம் உடையது.

இந்த மரபுகளைத் தவிர, ஒளிவிலகல் எண்ணைப் பொருத்தும் ஒரு மரபும் உண்டு. ஒரு ஊடகத்தின் ஒளிவிலகல் எண் எப்பொழுதும் நேர்க்குறி உடையது. இரண்டு ஊடகங்களைக் கருதுவோமாபின், அவற்றின் ஒளிவிலகல் எண்களின் வேறுபாடும் எப்பொழுதுமே நேர்க்குறி உடையது.

4 1.2. கோளக தளத்தில் ஒளிவிலகல்

கோளக தளத்தில் ஒரு பகுதியைக் கவனிப்போம் இதன் முதன்மை அச்சு CP ஆகும் (படம் 4-1). கோளத்தின் மையம்



படம் 4-1
கோளக பரப்பில் ஒளிவிலகல்

C ஆகும். P என்பது தளத்தின் மையம் ஆகும். தொலைவு PC=r அத்தளத்தின் வளைவு ஆரம் ஆகும்.

அச்சின்மீது உள்ள ஒளியுமிழ் புள்ளி O என்க. ஒரு ஒளிக்கதிர் O-விலிருந்து புறப்பட்டு, அச்சுக்கு மிக நெருக்கமாகச் சென்று வளைதளம் மீது A என்ற புள்ளியில் படுகிறது. A-யானது P-க்கு மிக அருகில் உள்ளது. இக்கதிர் ஒளி விலகலடைந்தபின் அச் சின்மீதுள்ள

புள்ளி I-வழியாய்ச் செல்கிறது. தளத்துக்குக் நேர்குத்தாக வரையப்பட்ட கோடு CA ஆகும்.

புள்ளி O, காற்றில் இருப்பதாகக் கொள்வோம். படம் 4-1-ல் தளத்திற்கு வலப்புறம் உள்ள ஊடகத்தின் ஒளிவிலகல் எண் μ என்க. படுகோணமும், விலகு கோணமும், முறையே i மற்றும் r என்க.

$\hat{AOP}$, $\hat{ACP}$, $\hat{AIP}$, என்பன சிறிய கோணங்கள்: இவற்றை முறையே α, β, γ, என்க. இக்கோணங்கள் மிகச் சிறியன்வாதலால் பின் வருமாறு எழுதலாம்:

$$\alpha = \frac{AP}{PO},\ \beta = \frac{AP}{PC} \text{ மற்றும் } \gamma = \frac{AP}{PI} \qquad (1)$$

$$\triangle \text{ AOC-ல்},\quad i = \beta + \alpha \qquad (2)$$

$$\triangle \text{ ACI-ல்},\quad \beta = r + \gamma \qquad (3)$$

$$\text{அல்லது}\quad r = \beta - \gamma \qquad (4)$$

$$\mu = \frac{\sin i}{\sin r} \text{ என்பதால்},\ \sin i = \mu \sin r \qquad (5)$$

கோணங்கள் i மற்றும் r சிறியன,

$$\text{எனவே},\quad i = \mu r \qquad (5a)$$

சமன்பாடுகள் (2), (4), மற்றும் (5a) யிலிருந்து நாம் பெறுவது

$$\beta + \alpha = \mu(\beta - \gamma) \qquad (6)$$

சமன்பாடு (1)லிருந்து α. β மற்றும் γ ன் மதிப்புகளை சமன்பாடு (6)ல் இட

$$\frac{AP}{PC} + \frac{AP}{PO} = \mu\left(\frac{AP}{PC} - \frac{AP}{PI}\right)$$

நெடுகிலும் AP-யால் வகுக்க,

$$\frac{1}{PC} + \frac{1}{PO} = \mu\left(\frac{1}{PC} - \frac{1}{PI}\right)$$

$$\frac{\mu}{PI} + \frac{1}{PO} = \frac{\mu - 1}{PC} \qquad (7)$$

வளைவு ஆரம் PC = r. தளமையம் Pயிலிருந்து பொருளின் தொலைவு PO = u, தளமையம் Pயிலிருந்து பிம்பத்தின்

தொலைவு, $PI = v$. மேலும் u, v, r ஒவ்வொன்றும் தொலைவு களின் அளவையும், குறியையும் ஒருமித்துக் குறிக்கின்றன.

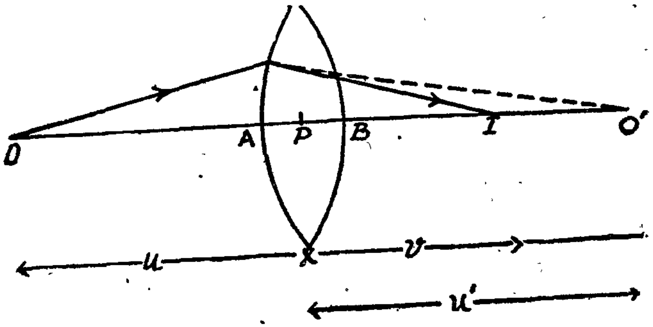
$$\text{எனவே} \quad \frac{\mu}{v} + \frac{1}{u} = \frac{\mu - 1}{r} \qquad (7)$$

$\frac{\mu - 1}{r}$ என்பதானது ஒளிவிலக்குத் தளத்தின் **திறன்** எனப் படும். காற்றின் பக்கமாகப் புடைத்துள்ள தளத்தின் வளைவு ஆரம் நேர்க்குறியுடையது ; ஆதலால் அத்தளத்தின் திறனும் நேர்க்குறி உடையது. அது போல்வே, காற்றின் பக்கமாக குழிந்துள்ள தளத்தின் வளைவு ஆரம் எதிர்க்குறி உடையது ; ஆதலால் அத் தளத்தின் திறன் எதிர்க்குறி உடையது.

4.1 3. மெல்லிய லென்சின் குவியத் தொலைவு

ஒரு லென்சின் தளங்களிடையே தொலைவு மிகச்சிறியதெனில் அது மெல்லிய லென்சு ஆகும். மெல்லிய லென்சுகளைப் பொருத்த வரையில், பொருள், பிம்பம் இவற்றின் தொலைவுகள் லென்சின் மையத்திலிருந்து அளக்கப்படுகின்றன.

ஒரு மெல்லிய லென்சின் தளங்களில் ஏற்படும் ஒளிவிலகல்கள் படம் 4-2-ல் காணப்படுகின்றன. O என்பது மெய்யான புள்ளி; இதுவே பொருளாகப் பயன்படுகிறது. அச்சுக்கு மிக நெருக்கமான



படம் 4-2
குவி லென்சில் ஒளி விலகல்.

ஒரு கதிர் லென்சின் தளம் A-மீது படுகிறது. இத்தளத்தில் ஒளி விலகலடைந்தபின் அக்கதிர் O'-ஐ அடையவேண்டும். அப்படி

அடையுமுன்னரே அது தளம் B-ல் ஒளிவிலகல் அடைகிறது. ஆகையால் அது அச்சினை I என்ற புள்ளியில் சந்திக்கிறது. I ஆனது O-ன் பிம்பம் ஆகும்.

PO = u, PO′ = u′ மற்றும் PI = v என்க. மேலும் A, B என்ற இரண்டு கோளக தளங்களின் வளைவு ஆரங்கள் முறையே r_1 மற்றும் r_2 என்க. சமன்பாடு (7a) யிலிருந்து, தளம் A-யில் ஏற்படும் ஒளி விலகலுக்கு பின்வருமாறு எழுதலாம்:

$$\frac{\mu}{u'} + \frac{1}{u} = \frac{\mu-1}{r_1} \qquad (8)$$

தளம் B-யைப் பொறுத்தவரையில், புள்ளி O′ மயமானது. எனவே இங்கு பொருளின் தொலைவு u′ எதிர்க்குறியுடையது. அடர்மிகு ஊடகத்திலிருந்து அடர்குறை ஊடகத்திற்கு ஒளிக்கதிர் செல்லும் பொழுது இரண்டாவது ஒளிவிலகல் ஏற்படுறது. எனவே

$$\frac{1}{v} - \frac{\mu}{u'} = \frac{\mu-1}{r_2} \qquad (9)$$

சமன்பாடுகள் (8)-ஐயும் (9)-ஐயும் கூட்ட

$$\frac{1}{v} + \frac{1}{u} = (\mu-1)\left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}\right) \qquad (10)$$

இச்சமன்பாட்டிலிருந்து ஒரு உண்மை உணரத்தக்கது. u-வையும் v-யையும் பரிமாற்றம் செய்தாலும் சமன்பாடு (10) பொருந்தும். இப்படிப் பரிமாற்றம் செய்யும் வகையில் அமைந்த புள்ளிகள் O-ம் I-ம் **பரிமாற்றுப் புள்ளிகள்** எனப்படும்.

u-ஆனது ஈறிலி எனில் $\frac{1}{u} = 0$; ஈறிலாத் தொலைவிலுள்ள பொருளினுடைய பிம்பம் விழும் புள்ளி லென்சின் இரண்டாவது குவியம் எனப்படும். $u = \infty$ ஆகும்பொழுது v-யானது f-க்குச் சமம். ஆகையால்

$$\frac{1}{f} = (\mu-1)\left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}\right) \qquad (11)$$

சமன்பாடு 11-ஐ **லென்சு தயாரிப்பாளரின் சமன்பாடு** என்பர். இச்சமன்பாட்டிலிருந்து நாமறிவது: லென்சின் குவியத் தொலைவு,

அதனுடைய ஒளிவிலகல் எண்ணையும், அதனுடைய இரண்டு தளங்களின் வளைவு ஆரங்களையும் சார்ந்து அமைகிறது.

மாதிரிக் கணக்குகள்

(1) மெல்லிய கண்ணாடியாலான இருபுறக் குவிலென்சினுடைய வளைவு ஆரங்கள் 0·25 மீட்டர், மற்றும் 0·50 மீட்டர். கண்ணாடியின் ஒளி விலகல் எண் 1·5 எனில் லென்சின் குவியத் தொலைவை கணக்கிடுக.

$$r_1 = 0{\cdot}25\text{மீ};\ r_2 = 0{\cdot}50\text{மீ};\ \mu = 1{\cdot}5$$

இவற்றை $\frac{1}{f} = (\mu - 1)\left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}\right)$-ல் இட,

$$\frac{1}{f} = (1{\cdot}5 - 1)\left(\frac{1}{0{\cdot}25} + \frac{1}{0{\cdot}50}\right) = 3$$

$$\therefore\ f = \frac{1}{3} = 0{\cdot}33 \text{ மீட்டர்.}$$

எனவே லென்சின் குவியத் தொலைவு 0·33மீ ஆகும்.

(2) கண்ணாடியாலான குவிப்பிறை லென்சு (Convex meniscus) ஒன்றின் வளைவு ஆரங்கள் 0·1 மீ மற்றும் 0·2மீ. கண்ணாடியின் ஒளிவிலகல் எண் 1·5. லென்சின் குவியத்தொலைவு என்ன ?

வளைவு ஆரம் அதிகமாக உடைய தளம் காற்றின் பக்கமாகக் குழிதளமுடையது. எனவே $r_1 = 0{\cdot}1$மீ ; $r_2 = ...0{\cdot}2$மீ என்க.

$$\frac{1}{f} = (\mu - 1)\left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}\right)$$

என்ற வாய்பாட்டிலிருந்து நாம் பெறுவது

$$\frac{1}{f} = 0{\cdot}5\left(\frac{1}{0{\cdot}1} - \frac{1}{0{\cdot}2}\right)$$

$$= 0{\cdot}5\ (10 - 5) = 2{\cdot}5$$

$$f = \frac{1}{2{\cdot}5} = 0{\cdot}4 \text{ மீட்டர்.}$$

எனவே லென்சின் குவியத் தொலைவு 0·4மீ ஆகும்.

4.1.4. லென்சின் திறன்

லென்சினுடைய குவியத்தொலைவின் தலைகீழி அதன் திறன் ஆகும். இதற்கு குவியத் தொலைவு மீட்டரில் சொல்லப்பட வேண்டும். லென்சினுடைய திறனைக் குறிக்கும் அலகு **டையாப்டர்** ஆகும். 1 மீட்டர் குவியத்தொலைவு உடைய குவிலென்சின் திறன் 1 டையாப்டர் ஆகும். இது போலவே 0·5 மீட்டர் குவியத் தொலைவு உடைய குழிலென்சின் திறன் —2 டையாப்டர் ஆகும்,

ஒன்றுடன் ஒன்று ஒட்டியிருக்கும் கூட்டுலென்சுகளின் திறனைக் கணக்கிட மேற்சொன்ன வரையறை மிக உதவும்.

4. 1. 5. மெல்லிய லென்சுகளின் கூட்டு (ஒன்றையொன்று தொடும் இரண்டு மெல்லிய லென்சுகள்)

குவியத் தொலைவுகள் f_1, f_2 உடைய இரண்டு மெல்லிய லென்சுகள் ஒன்றையொன்று தொடுமாறு பொது அச்சினில் அமைகின்றன. இந்தக் கூட்டுலென்சின் குவியத்தொலைவு F என்க. F-ன் மதிப்பைப் பின்கண்ட வாய்பாட்டிலிருந்து பெறலாம்.

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_1} \qquad (12)$$

சமன்பாடு (12) ஐப் பின்வருமாறு கூறலாம் :

ஒன்றையொன்று தொடுகின்ற லென்சுகளின் கூட்டமைப்பின் திறன் அந்த லென்சுகளின் தனித்தனியான திறன்களின் குறியியல் கூட்டுத்தொகை (algebraic sum) ஆகும்.

இரண்டு மெல்லிய லென்சுகளின் மையங்களிடையே தொலைவு d இருந்தால், அக்கூட்டமைப்பின் குவியத்தொலைவு F-ஐப் பெறுவதற்கான வாய்பாடு,

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} - \frac{d}{f_1 f_2} \qquad (13)$$

ஆகும்.

மாதிரிக் கணக்கு : குவியத்தொலைவுகள் 0·20 மீ-உடைய குவிலென்சும், 0·25மீ. உடைய குழிலென்சும் பொது அச்சில் ஒன்றையொன்று தொடுகின்றன. அக்கூட்டமைப்பின் குவியத் தொலைவு என்ன ?

f_1 = 0·20 மீ; f_2 = —0·25மீ.

இவை இரண்டும் தொட்டுக் கொள்வதால்,

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2}$$

$$= \frac{1}{0{\cdot}20} - \frac{1}{0.25}$$

$$= 5 - 4$$

= 1 டையாப்டர்.

$$\therefore F = \frac{1}{1} = 1 \text{ மீட்டர்.}$$

எனவே கூட்டமைப்பின் குவியத்தொலைவு 1 மீ ஆகும்.

4.1.6. குவிலென்சின் குவியத்தொலைவை நிர்ணயிக்கும் சோதனை முறைகள்

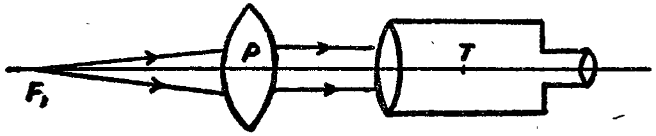
(அ) நேரடி முறை

(i) தொலை பொருள் முறை

மரம் அல்லது உயரமான கட்டிடம் போன்ற தொலைபொருள் ஒன்றின் பிம்பத்தை குவிலென்சைப் பயன்படுத்தி ஒரு திரை மீது வீழ்த்தவேண்டும். லென்சிலிருந்து பிம்பத்திற்கு உள்ள தொலைவு லென்சின் குவியத்தொலைவு ஆகும்.

(ii) தொலை நோக்கி முறை

இதற்குப் பதிலாக ஒரு தொலைநோக்கியைப் பயன்படுத்தலாம். ஒரு தொலைபொருள் தெளிவாகத் தெரியுமாறு தொலைநோக்கியைச் சீரமைக்க. அப்பொழுது அது இணைகதிர்களை ஏற்று குவியமாக்கிச் செயல்படுகிறது. லென்சின் அச்சுக்கோட்டில் இந்த தொலைநோக்கியை வைக்க லென்சுக்கு மறுபுறத்தில் ஒளிர்



படம் 4-3

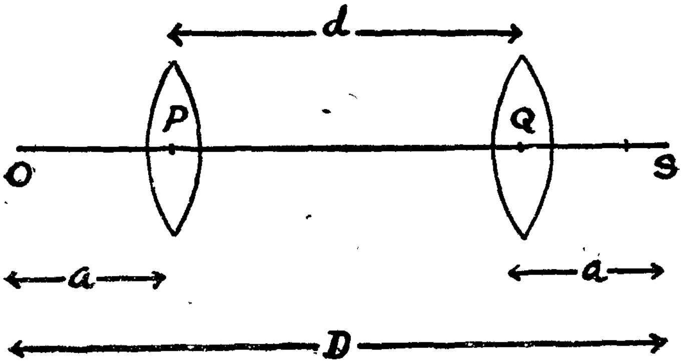
தொலை நோக்கியைப் பயன்படுத்தி குவியத்தூரம் காணல்

பொருளை (F_1) வைக்க. படம் 4-3 காண்க. இப்பொருள் தொலைநோக்கி மற்றும் லென்சு வழியே தெளிவாகத் தெரியுமாறு, லென்சிலிருந்து பொருளின் தொலைவைச் சீரமைக்க. அப்பொழுது

பொருளானது லென்சின் முதன்மைக் குவியத்தில் இருக்கிறது. எனவே PF_1 என்பது லென்சின் குவியத்தொலைவு ஆகும். இம்முறையானது குறிப்பாக நீண்ட குவியத்தூர லென்சுகளுக்குப் பயன்படுவதாகும். மேற்கூறிய இரு முறைகளும் குவியத்தூரத்தின் தோராய மதிப்பையே தருவனவாகும்.

(ஆ) இருநிலை முறை

லென்சின் முதன்மைக் குவியத்தை நேரடியாகக் கண்டு அதனுடைய குவியத்தொலைவை உத்தேசமாக நிர்ணயித்துக் கொள்க. திரை S-ஐயும் ஒளிர் பொருள் O-ஐயும் அவற்றினிடையே தொலைவு D இருக்குமாறு வைக்க. D ஆனது 4 f-க்குக் குறையாமலிருக்க வேண்டும். படம் 4-4 காண்க.



படம் 4-4

இருநிலை முறை

பொருள் O-க்கு அருகாமையில் லென்சை வைத்து அதனை S-ஐ நோக்கி நகர்த்துக. S-ன் மீது பிம்பம் தெளிவாக விழும்பொழுது லென்சு இருக்கிற இடத்தை P எனக் குறிக்க. O மற்றும் S-ஐ அவற்றினிடத்திலேயே இருத்திக் கொண்டு, லென்சை மேலும் S-ஐ நோக்கி நகர்த்துக. மீண்டும் ஒருமுறை பிம்பம் S-மீது தெளிவாகத் தெரியும் பொழுது லென்சின் இடத்தை Q என்று குறிக்க. P மற்றும் Q-க்கு இடையேயுள்ள தொலைவு d-யையும் தொலைவு D-யையும் அளந்து கொள்க.

லென்சு P-லிருந்து Q-க்கு இடம் மாறும் பொழுது, பொருள், பிம்பம் இவற்றின் இடங்கள் பரிமாற்றப்பட்டிருப்பது தெளிவு ; அதாவது O-வும் S-ம் பரிமாற்றுப் புள்ளிகளாகும். OP = QS; மற்றும் PS = OQ ஆகும் ; எனவே லென்சு P யிலிருக்கும் பொழுது,

$u = \frac{D-d}{2}$; $v = \frac{D-d}{2} + d = \frac{D+d}{2}$ ஆகின்றன.

இந்த மதிப்புகளை $\frac{1}{f} = \frac{1}{v} + \frac{1}{u}$ — ல் இட

$$\frac{1}{f} = \frac{2}{D+d} + \frac{2}{D-d}$$

அல்லது $$\frac{1}{f} = \frac{4D}{D^2 - d^2}$$

அல்லது $$f = \frac{D^2 - d^2}{4D} \qquad (14)$$

எனப் பெறப்படுகிறது.

D.யும் d-யும் அளக்கப்பட்டுள்ளதால் f-ஐக் கணக்கிடலாம். D-ன் வெவ்வேறு மதிப்புகளுக்கு (இவை எப்பொழுதும் 4fக்குக் குறையாமலிருக்க வேண்டும்) சோதனையை மீண்டும் செய்யலாம். அளவீடுகளைப் பின்வருமாறு அட்டவணையிடுக :

வரிசை எண்	தொலைவு D மீட்டர்	தொலைவு d மீட்டர்	$f = \frac{D^2 - d^2}{4D}$ மீட்டர்

இந்த சோதனையில் லென்சு, P மற்றும் Q-ல் உள்ள பொழுது கிடைக்கின்ற பிம்பங்களின் உருவ அளவுகளை பொருளின் அளவுகளுடன் ஒப்பிட்டுப் பார்க்க. நீங்கள் அறிவதென்ன ?

மாதிரிக் கணக்கு: ஒரு பொருளின் பிம்பத்தைக் குவிலென்சு திரைமீது வீழ்த்துகிறது. இந்த பிம்பத்தின் உருப்பெருக்கம் 2·5 ஆகும் பொருள்; திரை இரண்டும் நிலையிலிருத்தப்பட்டு லென்சு மட்டும் 0·10 மீட்டர் தொலைவு நகர்த்தப்பட்டால் மீண்டும் திரைமீது

கூர்மையான பிம்பம் தெளிவாகத் தெரிகிறது. லென்சின் குவியத் தொலைவு என்ன ?

உருப்பெருக்கம் உள்ள பொழுது,

$$v = \frac{D + d}{2}; \quad u = \frac{D - d}{2}$$

$$\text{ஆகையால் உருப்பெருக்கம்} = \frac{v}{u} = \frac{D + d}{D - d} = 2{\cdot}5$$

$d = 0{\cdot}10$ மீட்டர் எனத் தரப்பட்டுள்ளதால், இதனைப் பதிலீடு செய்யக் கிடைப்பது,

$$D = \frac{0{\cdot}70}{3} \text{ மீட்டர்}$$

$$\text{எனவே } f = \frac{D^2 - d^2}{4D} = \frac{\left(\frac{0\cdot7}{3}\right)^2 - (0{\cdot}1)^2}{4 \times \frac{0\cdot7}{3}} = \frac{1}{21} = 0{\cdot}048 \text{ மீ}$$

எனவே, லென்சின் குவியத் தொலைவு 0·048 மீ ஆகும்.

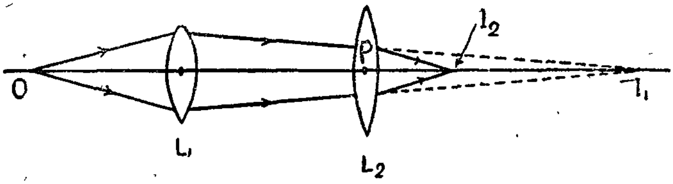
(இ) துணைலென்சு கொண்டு குவிலென்சின் குவியத் தொலைவை நிர்ணயித்தல்

மிக அதிகமான குவியத் தொலைவுகளுடைய லென்சுகளுக்கு மேற்சொன்ன முறைகள் பொருந்திவரா எனவே குறைந்த குவியத் தொலைவு f_1 உடைய குவிலென்சின் குவியத் தொலைவை மேற்சொன்ன முறை ஏதாவதொன்றின்படி கண்டுகொள்க. இதனுடன் அதிகக் குவியத் தொலைவு f_2- உடைய குவிலென்சை இணைத்து வைத்து இக்கூட்டமைப்பின் குவியத்தொலைவு F-ஐ நிர்ணயிக்க.

எனவே, $\frac{1}{F} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2}$ -விலிருந்து f_2 -ஐக் கணக்கிடலாம்.

இதற்கு மாறாகப் பின்வரும் செய்முறையையும் பின்பற்றலாம்: பொருளை O-ல் வைக்க. இதன் முன்னால் குறைந்த குவியத் தொலைவு லென்சு L_1-ஐ வைத்து அது திரைமீது I - ல் பிம்பம் தோற்றுவிக்குமாறு சீரமைக்க. இடம் I_1-ஐக் குறிக்க. (படம் 4-5) காண்க-)

இப்போது அதிகக் குவியத் தொலைவு உடைய லென்சு L_2-ஐ L_1-க்கும் I_1-க்கும் இடையே செருகுக. பிம்பம் திரைமீது கூர்மையாகத் தெரியும்வரை, திரையை L_2-ஐ நோக்கி நகர்த்துக. திரையின் இந்த இடம் I_2-ஐக் குறித்துக் கொள்க. தொலைவுகள் PI_1 மற்றும் PI_2-ஐ அளக்க.



படம் 4 - 5

குவி லென்சின் குவியத் தொலைவை துணை லென்சின் மூலம் காணல்

லென்சு L_2-க்கு, I_1 மாயப் பொருளாகவும், I_2 - மெய்ப்பிம்பமாகவும் உள்ளன. எனவே $u = -PI_1$ மற்றும் $v = +PI_2$ இந்த மதிப்புகளை

$$\frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f} \text{ -ல்}$$

பதிலீடு செய்து f-ஐக் கணக்கிடலாம்.

L_1-ஐ வெவ்வேறு இடங்களில் அமைத்து, அதற்கேற்ப I_1, மற்றும் I_2-என்ற இடங்களைக் கண்டு பிடித்து சோதனையை மீண்டும் செய்யலாம். இப்படிச் செய்கையில் O-ன் பிம்பம் I_1 எப்பொழுதும் உருப் பெருகியதாகவே இருக்குமாறு கவனித்துக் கொள்ள வேண்டும். அளவீடுகளைப் பின்வருமாறு அட்டவணைப்படுத்துக.

வரிசை எண்	இடம் I_1	இடம் I_2	இடம் P	தொலைவு $\|u\| = PI_1$ மீட்டர்	தொலைவு $\|v\| = PI_2$ மீட்டர்	$f = \frac{\|u\| . \|v\|}{\|u\| - \|v\|}$ மீட்டர்

4.1.7. குழிலென்சின் குவியத் தொலைவை நிர்ணயிக்கும் சோதனை முறைகள்

(அ) குவிலென்சுடன் தொட்டு இருக்கும் குழிலென்சு

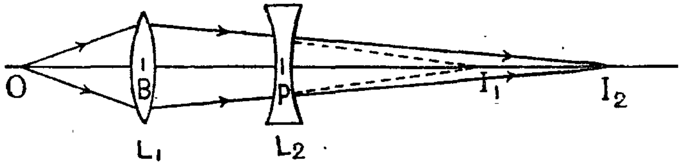
தரப்பட்ட குழிலென்சுடன் தொட்டிருக்கும் பொழுது குவிக்கின்ற கூட்டமைப்பு கிடைக்குமாறு ஒரு குவிலென்சு தேர்ந்தெடுக்கப்படுகிறது. இப்படித் தேர்ந்தெடுக்கப்பட்ட குவிலென்சின் குவியத் தொலைவு f_1-ஐ நிர்ணயித்துக் கொள்க. அதனைத் தொட்டிருக்குமாறு குவியத் தொலைவு f_2-ஐ உடைய குழிலென்சு வைக்கப்படுகிறது. இக்கூட்டமைப்பின் குவியத் தொலைவு F-ஐ பகுதி 4.1.6-ல் சொல்லப்பட்ட முறைகளிலொன்றால் நிர்ணயிக்க,

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} \text{ என்பதால்,}$$

$$\frac{1}{f_2} = \frac{1}{F} - \frac{1}{f_1}$$ என்பதிலிருந்து f_2-ஐக் கணக்கிடலாம்.

(ஆ) குவிலென்சைத் தொடாமல் குழிலென்சு வைக்கப்படுதல்

ஏதாவதொரு குவிலென்சு L_1-ஐ இச்செயல் முறையில் பயன்படுத்தலாம். பொருள் O-ன் மெய்ப் பிம்பம் I_1-ஐத் தோற்றுவிக்குமாறு குவிலென்சு வைக்கப்படுகிறது படம் 4-6 காண்க. இடம்



படம் 4 - 6

குழிலென்சின் குவியத் தொலைவை நிர்ணயிக்கும் துணைலென்சு முறை

I_1-ஐக் குறித்துக் கொள்க. குழிலென்சு L_2-ஐ L_1-க்கும் I_1-க்கும் இடையே செருகுக. L_2-விலிருந்து விலகிச் செல்லுமாறு திரையை நகர்த்தி, கூர்மையும் தெளிவுமான பிம்பம் I_2 பெறுக. L_2 மற்றும் I_2 என்ற இடங்களைக் குறித்துக் கொள்க.

L_2-க்கு I_1 மாயப் பொருளாகவும், I_2 மெய்ப் பிம்பமாகவும் உள்ளன. எனவே,

$u = -PI$-ல் மற்றும் $v = +PI_2$.

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{u} + \frac{1}{v}$$

என்ற வாய்ப்பாட்டில் பதிலீடு செய்து f-ஐக் கணக்கிடலாம்.

O-ஐச் சார்ந்து L_1-ஐப் பல்வேறு தொலைவுகளில் அமைத்து பல அளவீடுகள் பெறலாம்; இவற்றைப் பின்வருமாறு அட்டவணையிடலாம்:

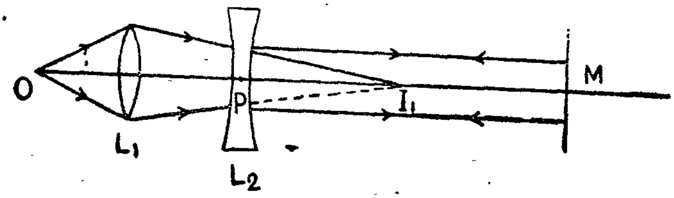
வரிசை எண்	இடம் I_1	இடம் I_2	இடம் P	தொலைவு $\lvert u \rvert = PI_1$ மீட்டர்	தொலைவு $\lvert v \rvert = PI_2$ மீட்டர்	$f = \frac{\lvert u \rvert \; \lvert v \rvert}{\lvert u \rvert - \lvert v \rvert}$ மீட்டர்

அட்டவணையின் கடைசிப் பத்தியில் கிடைக்கும் மதிப்புகள் எதிர்க்குறியுடையன; ஏனெனில் குழிலென்சின் குவியத்தொலைவு எதிர்க்குறியுடையதல்லவா ?

(இ) சமதள ஆடிமுறை

இது ஒரு நேரடி முறையாகும். படம் 4-7 காண்க. திரைமீது I_1-ல் பொருளின் பிம்பம் விழுமாறு குவிலென்சு L_1-ஐ வைக்க. இடம் I_1-ஐக் குறித்துக்கொண்டு திரையை நீக்கி விடுக. படத்தில் காண்பது போல், லென்சு L_1-ஐ நோக்குமாறு ஒரு சமதள ஆடி M-ஐ வைக்க; சமதள ஆடியும் லென்சு L_1-ம், I_1-க்கு இருமருங்கிலும் இருக்க வேண்டும். குழிலென்சு L_2-ஐத் தற்பொழுது L_1-க்கும் I_1-க்கும் இடையே செருகுக. பொருளுக்கு அருகாமையிலேயே மெய்ப்பிம்பம் விழுமாறு L_2-ன் இடத்தைச் சீரமைக்க.

இந்த அமைப்பில், I_1-ஆனது லென்சு L_2-ன் முதன்மைக் குவியத்தில் இருக்குமானால் Mக்குச் செல்லும் கதிர்கள் இணை கதிர்களாகும். எனவே அவை எதிரொளிக்கப்பட்டு, பிம்பம் பொருளுக்கு அருகிலேயே விழுகிறது. ஆகையால், குழிலென்சின் குவியத்



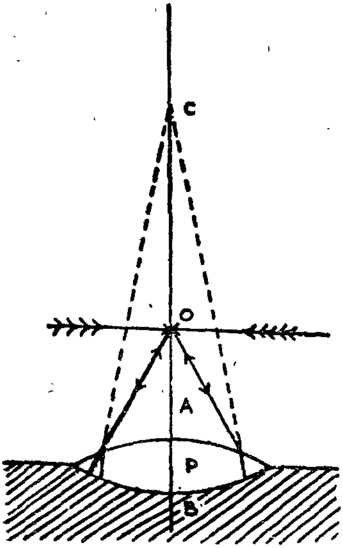
படம் 4-7

குழிலென்சின் குவியத்தொலைவு—சமதள ஆடி முறை

தொலைவு $f = -PI_1$ ஆகும். பொருளுக்கும் லென்சு L_1-க்கும் இடையே உள்ள தொலைவை மாற்றியமைத்து சோதனையை மீண்டும் செய்யலாம்.

4. 1. 8. குவிலென்சின் தளங்களின் வளைவு ஆரங்களை நிர்ணயித்தல் —பாய்சு முறை (Boys' Method)

குவிலென்சின் குவியத் தொலைவு f முதலில் நிர்ணயிக்கப் படுகிறது. ஒரு கிண்ணத்தில் உள்ள பாதரசத்தில் அந்த லென்சை மிதக்கச் செய்க. லென்சின் எத்தளத்தினுடைய வளைவு ஆரம் தேவையோ அந்த தளம் பாதரசத்தைத் தொட்டிருக்க வேண்டும். படம் 4-8 காண்க.



படம் 4-8
பாய்சு முறை

வெள்ளை வண்ணம் பூசப்பட்ட ஒரு குறிமுள்ளைத் தாங்கியில் கிடக்கையாகப் பொருத்துக. அம்முள்ளின் முனை O ஆகும். O-வை லென்சினுடைய அச்சின்மீது மேலும் கீழுமாக நகர்த்தி O-ம், அதன் மெய்ப் பிம்பமும் ஒன்றுமாறு முள்ளைப் பொறுத்துக. அதாவது, லென்சின் கீழ்த்தளம் B-ல் எதிரொளிப்பதால் O-வின் பிம்பம் பெறப்படுகிறது.

செங்குத்தாக நம் பார்வையைச் செலுத்தி கண்ணை முன்னும் பின்னுமாக அசைக்க O-க்கும் அதன் பிம்பத்திற்கும் இடையே இடமாறு தோற்றம் ஏற்படாவிட்டால் அவை இரண்டும் ஒன்றுகின்றன. தொலைவு $PO = u$ அளக்கப்படுகிறது. பலமுறை மேற்கண்டவாறு செய்து PO-க்கு சராசரி மதிப்பு காண்க.

பிம்பத்தை O-ல் தோற்றுவிக்கும் கதிர்கள் A-யில் ஒளிவிலகல் பெற்றபின் B-ன் மீது குத்தாக விழவேண்டும். அவை அப்படி விழும் பொழுது B-யின் வளைவு மையம் C-யிலிருந்து புறப்படுவதாகத் தோன்றும்; ஆகையால் O-விலுள்ள மெய்ப்பொருளின் மாயபிம்பம் C ஆகிறது. $u = PO$ மற்றும் $v = -PC = -r_2$ என்க ; தளம் B-ன் வளைவு ஆரம் r_2 ஆகும். வாய்பாடு $\frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$ -ல் பதிலீடு செய்ய நாம் பெறுவது $v = \frac{fu}{u - f} = -r_2$; $|f|$-ஐ விட $|u|$ குறைவானதால் விடையில் எதிர்க்குறி அமைகிறது. ஆகையால் $r_2 = \frac{fu}{f - u}$ என்பது தெளிபு. அளவீடுகளைப் பின்வருமாறு அட்டவணைப் படுத்தலாம்.

$f =$ .... மீட்டர்

முயற்சி எண்	தொலைவு $u = +PO$ மீட்டர்	$r_2 = \frac{fu}{f-u}$ மீட்டர்

இதேபோன்று லென்சைத் திருப்பிவைத்து வளைவு ஆரம் r_1-ஐயும் காணலாம்.

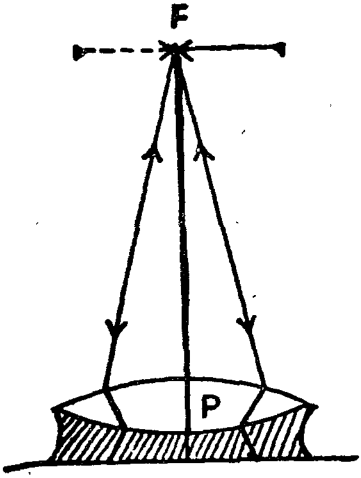
4.1.9. திரவத்தின் ஒளிவிலகல் எண் நிர்ணயித்தல்—திரவலென்சு

ஒரு குவிலென்சின் குவியத்தொலைவு f_1-யும், அதன் ஒரு வளைவு ஆரம் r_1-யும் நிர்ணயிக்க. கிடக்கையாக உள்ள சமதள ஆடி M மீது சில துளிகள் திரவத்தைவிட்டு அதன்மீது இந்த லென்சை வைக்க. சமதள ஆடிக்கும் குவிலென்சுக்கும் இடையே திரவத்தாலான தட்டக் குழிலென்சு உருவாகியுள்ளது. குவிலென்சும் திரவலென்சும் சேர்ந்த கூட்டமைப்பு குவிக்கும் பண்புடையது.

லென்சுக்கு மேலே சிறிது உயரத்தில் ஒரு பளபளப்பான குறிமுள்ளைக் கிடக்கையாகப் பொருத்துக. குறிமுள்ளை மேலும் கீழுமாக நகர்த்தி (படம் 4-9-ல் காண்பதுபோல) குறிமுள்ளும் அதன் பிம்பமும் ஒன்றுமாறு குறிமுள்ளைப் பொருத்துக. தொலைவு PF ஆனது கூட்டமைப்பின் குவியத்தொலைவு ஆகும். எனவே திரவலென்சின் குவியத்தொலைவு f_2-ஐ,

$$\frac{1}{f_2}=\frac{1}{F}-\frac{1}{f_1}$$

என்ற வாய்பாட்டிலிருந்து பெறலாம்.



படம் 4 - 9

திரவலென்சின் குவியத் தொலைவு காணல்

திரவலென்சின் ஒருதளம் சமதளமாக உள்ளது: எனவே அத்தளத்தின் வளைவு ஆரம் ஈறிலியாகும். ஆகையால்,

$$\frac{1}{f_2} = (\mu-1)\left(\frac{1}{r}+\frac{1}{\infty}\right)=\frac{\mu-1}{r}$$ ஆகும்

எனவே $$\frac{\mu-1}{r}=\frac{1}{F}-\frac{1}{f_1}$$

அல்லது $$\mu = 1 + r\left(\frac{1}{F}-\frac{1}{f_1}\right)$$ எனப்பெறப்படுகிறது.

அடைப்புக் குறிகளுக்குள் உள்ள கோவையும், மற்றும் r-ம் எதிர்க்குறியுடையன. ஆகையால்.

$$\mu = 1 + |r| \cdot \left(\frac{1}{f_1}-\frac{1}{F}\right)$$

என்றெழுதிக் கணக்கிடலாம். பலதடவை சோதனை செய்து F மதிப்புகளைக் கண்டு, அவற்றின் சராசரியைக் கணக்கிட்டுக் கொள்ளவேண்டும்.

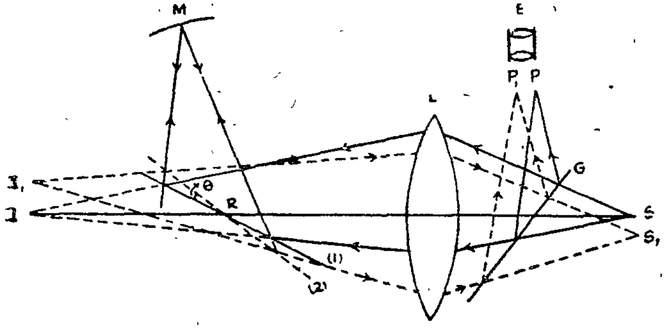
4.2. ஒளியின் திசைவேகம்

ஒளியின் திசைவேகம் அறிவியலில் முக்கிய இடம் வகிக்கிறது. ஒளியானது மீ உயர்வான திசைவேகத்துடன் பாய்கிறது. நெடுங் காலத்திற்கு முன்பே அறிவியல் அறிஞர் பலர் ஒளியின் திசை வேகத்தை நிர்ணயிக்க முயன்றனர். வியாழன் என்ற கோளினைச் சுற்றி வரும் துணைக்கோள்களின் இயக்கத்தை ஆராய்ந்து, 1675-ல் ரோமர் (Romer) என்ற அறிஞர் ஒளியின் திசைவேகத்தை முதன் முதலாக நிர்ணயித்தார். முதன்முதலாக, முற்றிலும் புவித்தளத்தின் மீதே எல்லா கருவிகளும் அமைந்த சோதனையை 1849-ல் ஃபீஷோ (Fizeau) செய்தார். அவரின் செய்முறையை ஃபியூகோ (Foucault) திருத்தியமைத்தார்.

4.2.1. ஃபியூகோ முறை

பிரகாசமான விளக்கு S-லிருந்து புறப்படும் ஒளிக்கதிர்கள் குவியப்படுத்தும் லென்சு L மீது விழுகின்றன. ஆகவே S-ன் பிம்பம் I-ல் உருவாகிறது. ஆனால் பிம்பம் உருவாவதற்கு முன்னரே ஒளிக் கதிர்கள், செங்குத்தான அச்சைப் பற்றி சுழலக்கூடிய சமதள ஆடி

R மீது விழுகின்றன. ஆகவே பிம்பமானது ஒரு குழியாடி M-ன் தளத்தின் மீது விழுகிறது. M-ன் வளைவு மையம் R-ன் அச்சுடன் ஒன்றியிருப்பதால் ஒளிக்கதிர்கள் வந்த வழியிலேயே எதிரொளிக்கப் படுகின்றன. R சுழலாமலிருக்கும் பொழுது, ஒளியானது I-லிருந்து புறப்பட்டுச் சென்று S-ல் குவியமாவதாகத் தோன்றும். L-க்கும் S-க்கும் இடையே ஒரு கண்ணாடித் தகடு G வைக்கப்பட்டுள்ளது. G-யானது L-ன் அச்சுக்கு 45° சாய்ந்திருக்கிறது. ஆகையால் பிம்பம் P-யில் உருவாகிறது. இந்த பிம்பத்தை மைக்ரோமீட்டருடன் இணைந்த கண்வில்லை E-ன் வழியாகக் காணலாம்.

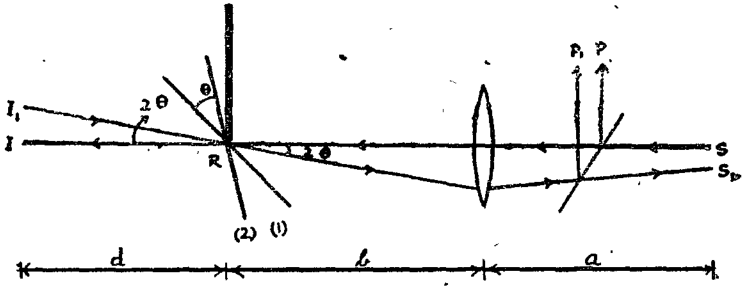


படம் 4 - 10

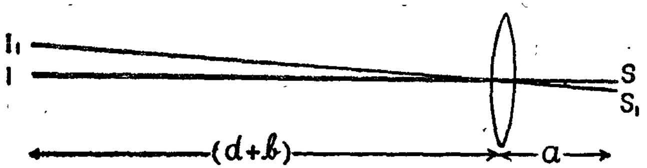
ஒளியின் திசைவேகத்தை நிர்ணயிக்க பியூகோ முறை

தற்பொழுது சீரான வேகத்தில் ஆடி R சுழல்வதாகக் கொள்வோம். ஒளியானது R-லிருந்து M-க்குச் சென்று திரும்பிவர ஆகும் நேரத்தில் ஆடி R கணிசமாகச் சுழன்றிருக்கும். இது சுழன்ற கோணம் θ என்க. ஆகையால் M-லிருந்து திரும்பி வரும் ஒளிக் கதிரும் R-ஆல் கோணம் 2θ திருப்பிவிடப்படும். ஆகையால் I_1-லிருந்து புறப்படுவதாகத் தோன்றும் கதிர்கள் S_1-ல் பிம்பத்தை உருவாக்கவேண்டும். ஆனால் கண்ணாடித் தகடு G வழியிலிருப் பதால் பிம்பம் P_1-ல் உருவாகின்றது. பிம்பத்தின் இடப்பெயர்ச்சி PP_1 மைக்ரோமீட்டரால் அளக்கப்படுகின்றது. $SS_1 = PP_1$ என்பது எளிதில் விளங்கும்.

SL = a, LR = b, RM = RI=d என்று கொள்க. மேலும் R ஆனது ஒரு செகண்டில் n தடவைகள் சுழல்வதாகவும் கொள்க. கோணம் θ-வை ரேடியன்களில் அளக்கிறோம்.



(a)



(b)

படம் 4 - 11

∴ பியூகோ முறையில் தொலைவுகளும் கோணங்களும்

$$2\theta = \frac{II_1}{d} \text{ அல்லது } \theta = \frac{II_1}{2d} \text{ ஆகும்.}$$

ஆகையால் கோணம் θ சுழல்வதற்கு R எடுத்துக் கொள்ளும் நேரம்

$$\frac{\theta}{2\pi n} = \frac{II_1}{4\pi nd}$$

இந்த நேரத்தில் ஒளி கடக்கின்ற தொலைவு = 2d ஆகும்.

ஆகையால் ஒளியின் திசை வேகம் $C = \frac{2d}{II_1/4\pi nd} = \frac{8\pi nd^2}{II_1}$

II_1 மற்றும் SS_1 என்ற தொலைவுகள் லென்சு L-ன் ஒளி மையத்தில் சாய்க்கின்ற கோணங்கள் சமமாகும். எனவே

$$\frac{II_1}{d+b} = \frac{SS_1}{a} = \frac{PP_1}{a}$$

$$\therefore II_1 = \left(\frac{d+b}{a}\right) PP_1.$$

ஆகையால் ஒளியின் திசைவேகம்

$$c = \frac{8\pi nad^2}{(d+b)PP_1} \qquad (5)$$

ஃபியூகோ பயன்படுத்திய கருவியில் குழியாடி M-ன் வளைவு ஆரம் 4 மீட்டர் இருந்தது; அதுபோல நான்கு குழியாடிகளை R-க்கும் M-க்கும் இடையே அமைத்து தொலைவு d-யை 20 மீட்டர் ஆக்கினார். இடப்பெயர்ச்சி PP_1 மிகக் குறைவாகவே (சுமார் 0.7 மி மீ) கிடைத்தது. 'ஸ்ட்ரோபாஸ்கோப்' (Stroboscope) கொண்டு R-ன் சுழல் வேகம் அளக்கப்பட்டது. ஃபியூகோ நிர்ணயித்தபடி ஒளியின் திசைவேகம் $c = 2{\cdot}98 \times 10^8$ $\frac{\text{மீட்டர்}}{\text{செகண்டு}}$.

ஃபியூகோவின் கருவி கையடக்கமாக இருந்தது; எனவே சோதனையை ஆய்வகத்திலேயே கட்டுப்பாடான சூழ்நிலையில் செய்ய இயன்றது. இதுவே இம்முறையின் சிறப்பு ஆகும்.

மாதிரிக் கணக்கு :

சுழலாடி முறையில் 10 மீட்டர் ஆரமுள்ள குழியாடி பயன்படுகிறது. லென்சிலிருந்து 4-மீட்டர் தொலைவில் விளக்கும், 3 மீட்டர் தொலைவில் சுழலாடியும் இருக்கின்றன. ஆடியானது ஒரு செகண்டுக்கு 500 தடவை சுழல்கிறது; பிம்பத்தின் இடப்பெயர்ச்சி 1·3 மிமீ எனில் ஒளியின் திசைவேகத்தைக் கணக்கிடுக.

$d = 10$ மீ ; $a = 4$ மீ; $b = 3$ மீ ; $n = 500$ சுழற்சி/செகண்டு

$PP_1 = 1{\cdot}3$ மிமீ $= 1{\cdot}3 \times 10^{-3}$ மீ.

$$c = \frac{8\pi nad^2}{(b+d)PP_1} = \frac{8\pi \times 500 \times 4 \times 10^2}{13 \times 1{\cdot}3 \times 10^{-3}}$$

$$= 2{\cdot}975 \times 10^8 \text{ மீ/செகண்டு.}$$

எனவே ஒளியின் திசைவேகம் $2{\cdot}975 \times 10$ மீ/செகண்டு ஆகும்.

4.2.2. ஃபியூகோ சோதனையின் முக்கியத்துவம்

அடர்குறை ஊடகத்தைவிட அடர்மிகு ஊடகத்தில் ஒளியின் வேகம் அதிகமா? குறைவா? என்பதை ஃபியூகோ முறை தீர்மானிக்க

இயன்றது. அவர R-க்கும் M-க்கும் இடையே நீர் நிறைந்த குழாயை வைத்து சோதனை செய்தபொழுது இடப்பெயர்ச்சி (PP_1) அதிகமாவதைக் கண்டார். எனவே **ஒளியானது. காற்றைவிட நீரில் மெல்லப் பாய்கிறது** என்பது தெளிவாயிற்று. இந்த வகையில் ஃபியூகோவின் சோதனை பண்பார்ந்தது; பின்னாளில், இதே போன்ற கருவியைப் பயன்படுத்தி **மைக்கல்சன்** (Michelson) என்பார்

$$\frac{\text{காற்றில் ஒளியின் திசைவேகம்}}{\text{நீரில் ஒளியின் திசைவேகம்}}$$

என்ற விகிதமானது நீரின் ஒளிவிலகல் எண் 1·33க்குச் சமமாக உள்ளது என்று நிறுவினார்.

ஃபியூகோவின் சோதனைக்கு முன்னர், ஒளியானது ஒரு ஊடகத்தில் அலைகளாகப் பாய்கிறதா? அல்லது நுண்ணிமங்க (Corpuscles) ஆகப் பாய்கிறதா? என்ற கருத்து வேறுபாடு அறிவியலாரிடையே நிலவியது. **நுண்ணிமக் கொள்கை** (Corpuscular Theory) யின்படிப் பெறப்படும் முடிவு காற்றைவிட நீரில் ஒளியின் திசைவேகம் அதிகம் என்பதாகும். **அலைக் கொள்கை** (Wave Theory) யின்படி பெறப்படும் முடிவு நீரைவிடக் காற்றில் ஒளியின் திசைவேகம் அதிகம் என்பதே. ஃபியூகோவின் சோதனையானது அலைக் கொள்கையின்படி பெறப்பட்ட முடிவுக்குச் சாதகமாக அமைந்தது.

4. 2. 3. ஒளியின் திசைவேகத்தின் முக்கியத்துவம்

ஒளியின் திசைவேகம் $= 2{\cdot}997 \times 10^8$ மீட்டர்/ செகண்டு எனப் பல அறிவியல் அறிஞர்கள் நிறுவியுள்ளனர். ஒளியின் திசைவேகத்தின் மதிப்பு பயன்படுகின்ற பல முக்கிய துறைகளில் ஒரு சில பின்வருமாறு:

(அ) **அதிர்வெண்-அலைநீள உறவு :** நிறமாலையியலில் ஒளியின் அலைநீளம் λ நிர்ணயிக்கப்படுகிறது; பின்னர் $c = \nu\lambda$ என்ற தொடர்பைப் பயன்படுத்தி. அதன் அதிர்வெண் ν கணக்கிடப்படுகிறது.

(ஆ) **சார்புக் கொள்கை** (Theory of Relativity) யானது, இயங்கும் துகள் ஒன்றினுடைய நிறை அதன் திசைவேகத்தைச் சார்ந்து,

$$m = m_0 \left(1 - \frac{v^2}{c^2} \right)^{-\frac{1}{2}}$$

என்ற தொடர்பின்படி அமையும் என்று காட்டியுள்ளது. இங்கு c = வெற்றிடத்தில் ஒளியின் திசைவேகம்; m_0 = ஓய்வு நிலையில் துகளின் நிறை; v = துகளின் திசைவேகம்.

(இ) நிறை-ஆற்றல் இணைமாற்று (Mass Energy Equivalence)

$E = mc^2$ ஆகும்.

இங்கு E = ஆற்றல்; m = நிறை;

c = வெற்றிடத்தில் ஒளியின் திசைவேகம்.

தகுந்த முறைகளில் நிறையை ஆற்றலாக மாற்றலாம் என்பதே இத் தத்துவம். அணுக்கருப் பிளவை (nuclear fission) யிலும் அணுக்கரு இணைவிலும் (nuclear fusion) பெறக்கூடிய ஆற்றலைக் கணக்கிட மேற்சொன்ன வாய்பாடு பயன்படும்.

(ஈ) ஒரு ஊடகத்தின் ஒளிவிலகல் எண்,

$$\mu = \frac{\text{வெற்றிடத்தில் ஒளியின் திசைவேகம்}}{\text{ஊடகத்தில் ஒளியின் திசைவேகம்}} = \frac{c}{v}$$

என்றாகும். μ அல்லது v தெரியுமானால், மற்றதைக் கணக்கிடலாம்.

4. 3. ஒளியின் இயல்பு

4. 3. 1. ஒளியைப் பற்றிய கொள்கைகள்

ஒளி பாய்வதைப்பற்றிய கொள்கை எதுவும் ஒளியின் பண்பு களையும் விளக்கவேண்டும். ஒளி ஒருவகை ஆற்றல் என்பதால் அது பாயும்பொழுது ஆற்றல் ஓரிடத்திலிருந்து மற்றோரிடத்திற்கு மாற்றப்படுகிறது. **ஒளி பாய்வதற்கு ஊடகம் தேவையில்லை.** நேர் கோட்டில் செல்லுதல், எதிரொளிப்பு, ஒளிவிலகல் மற்றும் முழு அக எதிரொளிப்பு என்பன ஒளியின் பண்புகளில் சிலவாம். இவற்றுடன் குறுக்கீட்டு விளைவு, விளிம்பு விளைவு, தள விளைவு என்பனவும் ஒளி பாயும்பொழுது நிகழ்கின்றன.

ஓரிடத்திலிருந்து மற்றோரிடத்திற்கு ஆற்றலை மாற்ற இரண்டு வழிமுறைகள் உண்டு. இயங்கும் துகள்களின் பிரவாகத்தால் இட மாற்றம் செய்வது ஒரு வழிமுறையாகும். அலையியக்கத்தால் ஆற்றலை இடம் மாற்றுவது மற்றொரு முறையாகும். முன்னதை நியூட்டனும் பின்னதை ஹைஹென்ஸ் (Huygens) என்பாரும் ஆதரித் தனர். நியூட்டனின் கருத்துக்கள் **நுண்ணிமக் கொள்கை** (Corpuscular Theory) எனப்பட்டன. ஹைஹென்ஸ் சொன்ன கருத்துக்கள் **அலைக் கொள்கை** (Wave Theory) எனப்பட்டன.

4.3.2. நுண்ணிமக் கொள்கை

ஒரு ஒளி மூலமானது மீஉயர் எண்ணிக்கையில் மீநுண்ணிய துகள்களை உமிழ்கிறது. இத்துகள்கள் ஒளி ஆற்றலைச் சுமந்து செல்கின்றன என்பது நியூட்டனின் கோட்பாடு. இத்துகள்கள் ஒளி நுண்ணிமங்கள் (Corpuscles of Light) எனப்பட்டன. ஒரு படித்தான (Homogeneous) ஊடகத்தில் இந்த நுண்ணிமங்கள் நேர்கோட்டுப் பாதையில் செல்கின்றன. அவை எல்லாத் திசைகளிலும் மிக அதிக மான வேகத்துடன் இயங்குகின்றன. இந்த நுண்ணிமங்கள் மீச் சிறியன என்பதால், ஒளிமூலம் நெடுநேரத்திற்கு ஒளி வீசினாலும் அதன் நிறை குறைவதில்லை.

நுண்ணிமங்களின் இயக்க ஆற்றலே ஒளி ஆற்றல். கண்ணின் விழித்திரைமீது நுண்ணிமங்கள் மோதுவதால் பார்வை ஏற்படுகிறது. நுண்ணிமங்களின் பரும வேறுபாடு காரணமாக வெவ்வேறு நிறங்கள் உண்டாகின்றன. நுண்ணிமங்கள் பருப்பொருட் துகள்கள் ஆதலால் அவை வெற்றிடத்தின் வழியாகவும் பாயலாம்.

நுண்ணிமங்கள் நேர்கோட்டுப் பாதையில் செல்கின்றன என்பதி லிருந்து ஒளியின் நேர்கோட்டு இயக்கம் விளக்கம் பெறுகிறது. இரண்டு ஊடகங்களைப் பிரிக்கும் தளத்தை நுண்ணிமங்கள் நெருங் கும் பொழுது அவை ஈர்க்கப்படுகின்றன அல்லது எதிர்க்கப்படு கின்றன; எதிர்ப்பினால் எதிரொளிப்பு ஏற்படுகிறது. எதிரொளிக் கும் தளத்திலிருந்து ஒரு குறிப்பிட்ட எல்லைக்குள் நுண்ணிமங்கள் புகுந்தால், அவைமீது தளத்திற்கு நேர்குத்தான திசையில் எதிர்ப்பு விசை செயல்படுகிறது.

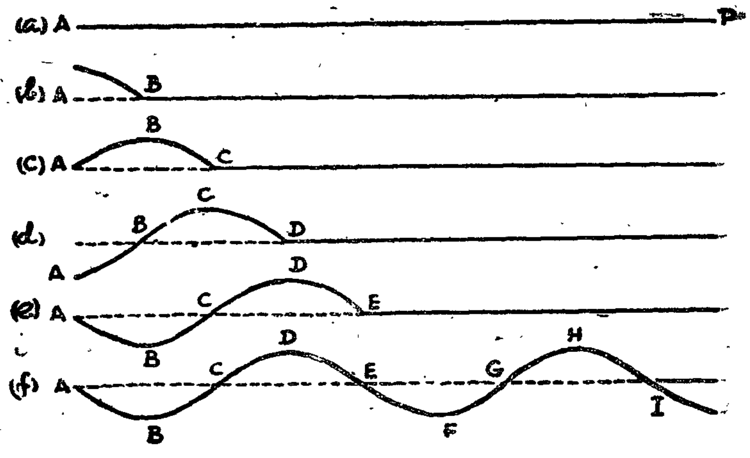
ஒளி ஊடுருவும் ஊடகமானது தனது தளத்திற்குக் குத்தான திசையில் நுண்ணிமங்களை ஈர்க்கின்றது. இதனால் காற்றிலிருந்து நீர் அல்லது கண்ணாடிக்குள் ஒளிபுகும் பொழுது நுண்ணிமங்கள் அத்தளத்தின் குத்துக்கோட்டை நெருங்குகின்றன; எனவே அடர்மிகு ஊடகத்தில் அவற்றின் திசைவேகம் அதிகமாக உள்ளது. ஒளி அடர்மிகு ஊடகத்திலிருந்து அடர்குறை ஊடகத்திற்குப் பாயும் பொழுது ஈர்ப்புவிசை முன்னைவிடக் குறைவாயுள்ளதால் குத்துக் கோட்டிலிருந்து நுண்ணிமங்கள் விலகிச் செல்கின்றன; எனவே அடர் குறை ஊடகத்தில் அவற்றின் திசைவேகம் குறைகிறது.

ஒருசேர நிகழும் எதிரொளிப்பையும், ஒளி விலகலையும்கூட நியூட்டன் விளக்கினார். அதாவது ஒரு பகுதி நுண்ணிமங்கள் எதி ரொளிக்கப் படக்கூடிய பாங்கிலும், மற்றவை விலகலடையும் பாங்கி லும் இருக்கின்றன என்று அவர் கூறினார்.

இருந்தபோதிலும், அடர்மிகு ஊடகத்தில் ஒளி மெல்லப் பாய்கிறது; அடர்குறை ஊடகத்தில் வேகமாகப் பாய்கிறது என்பதை ஃபியூகோவின் சோதனை நிறுவியது. ஆதலால் நியூட்டனின் நுண்ணிமக் கொள்கை ஏற்புடையதல்ல என முடிவாகிறது.

4. 3. 3. அலை இயக்கம் (Wave Motion)

இணக்கமுடைய(flexible) கம்பி ஒன்று AP இழுத்து விறைப்பாகக் கட்டப் பட்டிருக்கட்டும். (படம் 4-12 காண்க). AP-க்குக் குத்தாக, முனை A-க்குச் சீரிசை இயக்கம் தரப்படட்டும். இச்சீரிசை இயக்கம் AP-யின் நெடுகிலும் ஒரு துகளிலிருந்து அடுத்த துகளுக்குக் கடத்தப் படும். A யானது சுழி, கால், அரை, முக்கால், மற்றும் ஒரு முழு அலைவு நிகழ்த்திய பின், A யிலிருந்து வரிசையாக உள்ள துகள் களின் இடங்கள் படத்தில் a, b, c, d, மற்றும் e-போல் காணப்படு கின்றன. ஒரு துகள் தன்னுடைய சமநிலையிலிருந்து இருமருங்கி லும் அடைகின்ற பெரும இடப்பெயர்ச்சி அலையின் வீச்சு எனப்



படம் 4 - 12

அலை இயக்கத்தின் விளக்கப்படம்

படும். A-யானது தொடர்ச்சியாக இயங்கும்பொழுது AE யைப் போன்ற அலைகள் f-ல் காண்பதுபோல உருவாகும். D, H மற்றும் இவற்றையொத்த புள்ளிகள் முகடுகள் (crests) என்றும், B,F மற் றும் இவற்றையொத்த புள்ளிகள் அகடுகள் (troughs) என்றும் வழங்கப்படுகின்றன.

இவ்வாறாக, மீட்சியியல்புடைய தொடர் ஊடகத்தில் ஒரு துகளிலிருந்து மற்றதற்கு வரிசையாக சீரிசை இயக்கம் கடத்தப்படும் நிகழ்வே அலை இயக்கம் எனப்படும்.

சீரிசை இயக்கமுறும் துகளின் ஒரு **அலைவு நேரத்தில் அலை பரவுகின்ற தொலைவு அலை நீளம்** எனப்படும். ஆகையால் AE என்பது அலைநீளம் ஆகும். A-யில் உள்ள துகள் ஒரு முழு அலைவு முடித்திருக்கிறது; அது அலைவுறத் தொடங்கியதிலிருந்து தற்பொழுது வரை அதன் 'கட்டம்' (Phase angle) 2π ஆகும். E-யில் உள்ள துகள் தற்பொழுது புறப்படத் தயாராக உள்ளது; அதன் கட்டம் சுழியாகும். A மற்றும் E-யைப்போன்ற துகள்கள் ஒத்தகட்டத்திலுள்ளனவென்று கூறப்படும். இதுபோலவே முகடுகள் D, H-ல்

$$\left(\text{கட்டம் } \frac{3\pi}{2}, \frac{7\pi}{2} \right)$$ ஒத்த கட்டத்திலுள்ளன.

B, F-ல் உள்ள துகள்களும் (கட்டம் $\frac{\pi}{2}, \frac{5\pi}{2}$)

உள்ள துகள்கள் ஒத்தகட்டத்திலுள்ளன. எனவே அலை நீளத்தைப் பின்வருமாறும் வரையறுக்கலாம்:

இரண்டு அடுத்தடுத்த முகடுகளுக்கு (அல்லது அகடுகளுக்கு) இடையே உள்ள தொலைவு அலை நீளம் ஆகும். அல்லது பொதுவாக ஒத்தகட்டங்களில் உள்ள இரண்டு அடுத்தடுத்த துகள்களுக்கு இடையே உள்ள தொலைவு அலை நீளம் ஆகும்.

ஊடகத்தின் ஏதாவது ஒரு புள்ளி வழியாக ஒரு செகண்டு நேரத்தில் கடக்கின்ற அலைகளின் எண்ணிக்கை அலையியக்கத்தின் **அதிர்வெண்** எனப்படும். இதுவே, ஊடகத்தில் எந்த ஒரு துகளும் ஒரு செகண்டில் நிகழ்த்துகின்ற அலைவுகளின் எண்ணிக்கையுமாகும்.

அலையியக்கத்தின் திசைவேகம்

$$v = n\lambda$$

என்ற தொடர்பிலிருந்து பெறப்படும்; இங்கு n = அலையின் அதிர்வெண்; λ = அதன் அலை நீளம்.

அலைக் கொள்கை

அலையியக்கத்தால் ஒளி பரவுகிறது என்ற கருத்தை ஹைஜென்ஸ் கூறினார். அலையியக்கம் நிகழ்வதற்கு மீட்சியியல்பு உடைய ஊடகம் தேவை. ஒளியானது வெற்றிடம் வழியாகவும் பாய்

கிறது. எனவே கண்ணுக்குப் புலப்படாத மீட்சியியல்புடைய ஊடகம் ஒன்று இருப்பதாகக் கற்பித்துக் கொண்டார். இதற்கு **ஈதர்** எனப் பெயர். ஈதர் ஆனது வெளிமுழுவதிலும் நிறைந்துள்ளது. பருப்பொருட்களிலும் ஊடுருவி விரவியுள்ளது; அதற்கு எடையில்லை.

அலைக்கொள்கையின்படி, புள்ளியாக உள்ள ஒளிமூலம் உமிழ்கின்ற அலைகள் மூன்று பரிமாணங்களிலும் பரவுகின்றன. சுற்றியுள்ள ஊடகத்திலுள்ள ஒவ்வொரு ஈதர் துகளும், இயக்கம் பெற்றவுடன் ஒரு புதிய ஒளிமூலமாகச் செயல்பட்டு **இரண்டாம் நிலை அலைக்குட்டிகளை** (Secondary Wavelets) தோற்றுவிக்கின்றன. குறிப்பிட்ட நேரத்திற்குப் பின் இந்த அலைக்குட்டிகள் அனைத்துக்குமான உறையே அக்கணத்தில் **அலைமுகப்பு** ஆகும். அவ்வலைகள் செல்லும் திசைகளைக் குறிக்கும் கதிர்கள் அலைமுகப்புக்குக் குத்தாக உள்ளன.

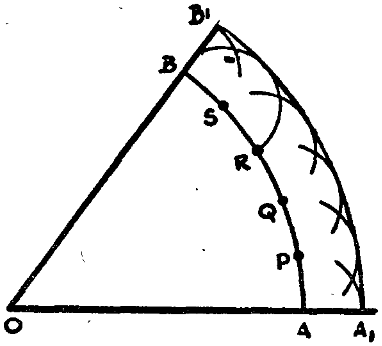
காற்றைவிட அல்லது வெற்றிடத்தைவிட அடர்மிகு ஊடகத்தில் அலையியக்கத்தின் திசைவேகம் குறைவு. எனவே அலைக்கொள்கையானது ஃபியூகோவின் சோதனை முடிவுகளுடன் ஒத்திருக்கிறது.

4.3.4 இரண்டாம்நிலை அலைக்குட்டிகள்—ஹைஹென்ஸ் நிர்மாணம்; ஒருபடித்தான ஊடகத்தில் கோளக அலை பரவுதல்

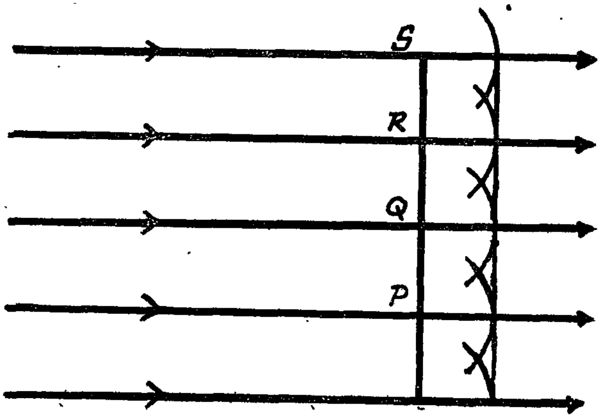
படம் 4-13 (a)ல், விரியும் கோளக அலையின் குறுக்கு வெட்டுத் தோற்றம் காணப்படுகிறது. O என்பது புள்ளியான ஒளி மூலம். ஏதோ ஒரு கணத்தில், அலைமுகப்பின் ஒரு பகுதி இருக்கின்ற இடம் AB என்க. ஹைஹென்ஸ் கூற்றுப்படி, **அலைமுகப்பின் ஒவ்வொரு புள்ளியும் இரண்டாம்நிலை மூலமாகச் செயல்பட்டு கோளக அலைக்குட்டிகளை உமிழ்கின்றன.** ஊடகத்தில் ஒளியின் திசைவேகத்திற்குச் சமமாக அலைக்குட்டிகளின் ஆரம் வளர்கிறது. t செகண்டுகளுக்குப் பிறகு அலைமுகப்பின் இடத்தைக் கண்டுபிடிக்க AB மீதுள்ள P, Q, R, S .... புள்ளிகளை மையங்களாகவும், ஆரம் vt எனவும் கொண்டு வட்டவில்கள் வரைக. (v- ஊடகத்தில் ஒளிவேகம்) இவையாவும் அலைக்குட்டிகளின் சுவடுகளாகும். இந்தச் சிறிய வட்டவில்களைத் தொடும் உறையாக உள்ள வட்டவில் A_1 B_1 புதிய அலைமுகப்பு ஆகும்.

O-விலிருந்து மீத்தொலைவில் அலைமுகப்பின் வளைவு ஆரம் மிகப் பெரியதாகும்; எனவே அலை முகப்பினை ஒரு சமதளமாகக்

கருதலாம். (படம் 4-13b காண்க). அப்பொழுது, கதிர்கள்—அதாவது அலைமுகப்பின் குத்துக்கோடுகள்—இணையாக அமையும்.



(a) கோளக அலை



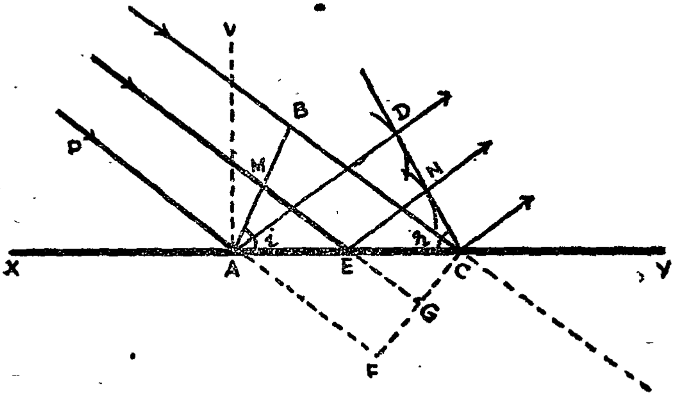
படம் 4-13

(b) சமதள அலை

4. 3. 5. சமதளத்தில் சமதள அலை எதிரொளிக்கப்படுதல்

XY என்பது எதிரொளிக்கும் சமதளத்தைக் குறிக்கிறது. அதன் மீது புள்ளி A-ல் விழும் சமதள அலைமுகப்பை AB குறிக்கிறது. ஒளியின் திசைவேகம் v என்க; XY-மீது புள்ளி C-யை அலைமுகப்பின் விளிம்பு B அடைவதற்குத் தேவையான நேரம் t செகண்டுகள் என்க. தளத்தின்மீது அலைபட்டவுடன் A-யிலிருந்து அலைக்குட்டி தோன்றுகிறது. AB மீதுள்ள ஒவ்வொரு புள்ளியும் (எ. கா. M)

ஒன்றன்பின் ஒன்றாக XY-ஐ அடைகின்றன். AC-மீதுள்ள ஒத்த புள்ளிகளிலிருந்து (எ. கா. E) அலைக்குட்டிகள் தோன்றுகின்றன. எதிரொளிப்பு முடிகின்ற கணத்தில் C-யிலிருந்து அலைக்குட்டியொன்று புறப்படத்தயாராயுள்ளது. எதிரொளிப்பு நிகழவில்லை



படம் 4- 14

சமதளத்தில் சமதள அலை எதிரொளிக்கப்படுதல்

யெனில் AB மீதான புள்ளி M ஆனது G-யை அடைந்திருக்கும் : இதற்குப் பதிலாக ஆரம் EN (= EG) உடைய அலைக்குட்டி வளர்ந்துள்ளது. இது போலவே A-யிலிருந்து புறப்பட்ட அலைக்குட்டியின் ஆரமும் AD (= AF = BC) ஆக உள்ளது. A-யை மையமாகவும் AD-யை ஆரமாகவும் கொண்டு ஒரு வட்டவில் வரைக. இந்த வட்டவில் A-யிலிருந்து புறப்பட்ட அலைக்குட்டியைக் குறிக்கும் இந்த் வட்ட வில்லுக்கு C-யிலிருந்து தொடுகோடு வரைக இத்தொடுகோடு வட்ட வில்லினை D-யில் தொடட்டும்.

முக்கோணங்கள் ACB, CAD மற்றும் CAF ல்

$BC = AD = AF = vt$

ஆகும், மற்றும், இவற்றிற்கு AC பொதுவானது.

மேலும் $\angle B = \angle D = \angle F = 90°$.

ஆகையால் $\Delta ACB \equiv \Delta CAD \equiv \Delta CAF$.

அத்துடன் இந்த முக்கோணங்களில்

$EN \perp CD$; மற்றும் $EG \perp FC$.

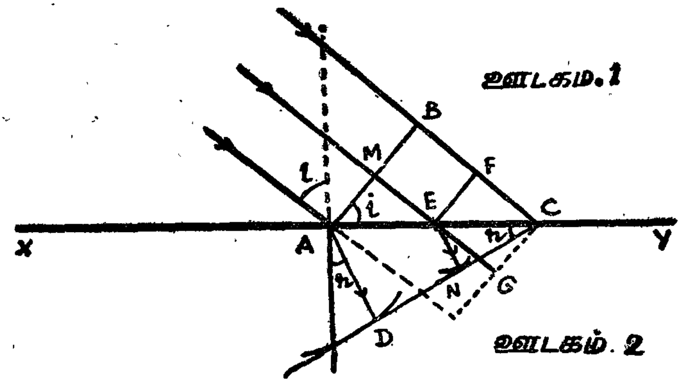
எனவே, $EN = EG$.

ஆகையால் E-யிலிருந்து புறப்படும் அலைக்குட்டி, தளம் CD-யைத் தொடுகிறது. இதுபோலவே, AC மீதுள்ள எல்லாப் புள்ளிகளி லிருந்தும் புறப்படுகின்ற அலைக்குட்டிகள் யாவும் தளம் CD-யைத் தொடுகின்றன என்பது தெளிவு. எனவே எல்லா அலைக்குட்டி களுக்குமான — அதாவது எதிரொளிக்கப்பட்ட அலைகள் — பொது உறையாக CD உள்ளது. ஆதலால் சமதளத்தின்மீது படுகின்ற சமதள முகப்புடைய அலையானது சமதள முகப்புடனேயே எதிரொளிக்கப்படுகிறது.

மேற்சொன்ன நிகழ்வு எதிரொளிப்பின் விதிகளுக்குட்பட்டு நிகழ் கிறது எனக் கண்டுகொள்வது எளிது. முக்கோணங்கள் ACB மற்றும் CAD-யில் $\angle BAC = \angle DCA$. மேலும் படம் 4-14-ல் படுஅலை முகப்புக்கும் (BA) எதிரொளிப்புத் தளத்திற்கும் (XY)இடையே உள்ள கோணம் BAC, படுகோணமாகும். எதிரொளி அலை முகப்புக்கும், தளத்திற்கும் இடைப்பட்ட கோணம் $\angle BAC$ என்பது எதிரொளிப்பு கோணமாகும்; எனவே $i = r$. மேலும் PA, AD மற்றும் AV என்ற திசைகள் படத்தின் தளத்தில் உள்ளன என்பதும் விளங்கும். எனவே அலைக் கொள்கையானது எதிரொளிப்பினை விளக்குகிறது.

4.3.6 சமதளத்தில் சமதள அலை ஒளிவிலகல்

இரண்டு ஊடகங்களைப் பிரிக்கும் சமதளத்தை XY குறிக்கட்டும். (படம் 4-15 காண்க): முதல் ஊடகத்தில் செல்லும்



படம் 4 - 15

சமதளத்தில் சமதள அலைஒளி விலகல்

AB என்ற சமதள அலைமுகப்பு XY மீது விழட்டும். முதல், இரண்டாவது ஊடகங்களில் ஒளியின் திசைவேகங்கள் முறையே v_1, v_2 என்க.

ɒ XY-ன் மீதுள்ள A என்ற புள்ளி முதன் முதலாகக் குலைவுறு கிறது. AC மீதுள்ள மற்ற புள்ளிகள் வரிசையாக ஒன்றன் முன் ஒன்றாக குலைவுறுகின்றன : C-தான் கடைசியாக குலைவுறு கிறது. தொலைவு BC-யைக் கடக்க, அலை முகப்பு எடுத்துக் கொள்ளும் நேரம் t என்க :

அதாவது $BC = v_1 t$.

A-யிலிருந்து புறப்பட்ட அலைக்குட்டியானது, இதே நேரத்தில் இரண்டாவது ஊடகத்தில்

$$AD = v_2 t$$

என்ற தொலைவுக்குச் சென்றுள்ளது ; ஒரு அலைக்குட்டி C-யில் புறப்படத் தயாராக உள்ளது. ஆகையால், A-யை மையமாகவும், $AD = v_2 t$ யை ஆரமாகவும் கொண்டு ஒரு வட்டம் வரையப்படட்டும். இந்த வட்டத்திற்கு C-யிலிருந்து ஒரு தொடுகோடு வரைய அது வட்டத்தை D-யில் தொடுகிறது.

$$\frac{BC}{AD} = \frac{v_1}{v_2} \text{ என்பது தெளிவு.}$$

AC-மீது ஏதாவதொரு புள்ளி E-யைக் கவனிக்க- E-ம் C-ம் குலைவுறுகின்ற கணங்களுக்கிடையேயான நேரத்தில், முதல் ஊடகத்தில் ஒளி தொலைவு FC-யைக் கடக்கிறது. E-யிலிருந்து புறப்பட்ட அலைக்குட்டி அதே நேரத்தில் இரண்டாவது ஊடகத்தில் தொலைவு EN சென்றுள்ளது.

Δ CEF ஆனது Δ CAB யுடன் வடிவொத்தது. ஆதலால்,

$$\frac{CF}{CB} = \frac{CE}{CA}$$

மேலும் Δ CEN-ம் Δ CAD-ம் வடிவொத்தன; ஆதலால்.

$$\frac{EN}{AD} = \frac{CE}{CA}$$

$$\text{எனவே, } \frac{EN}{AD} = \frac{CF}{CB},$$

$$\text{அல்லது } \frac{CF}{EN} = \frac{CB}{AD} = \frac{v_1}{v_2} \text{ ஆகும்.}$$

ஆகையால் CD-ஆனது B-யிலிருந்து புறப்பட்ட அலைக்குட்டிக்குத் தொடுகையாக அமைகிறது. E-யை விருப்பம் போல் தேர்ந்தோம்.

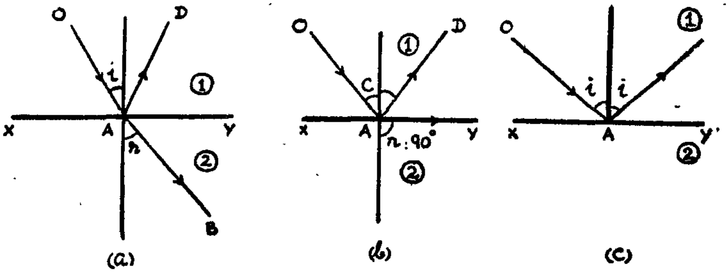
எனவே, AC-மீதுள்ள எல்லாப் புள்ளிகளிலிருந்தும் புறப்பட்ட எல்லா அலைக்குட்டிகளுக்கும் CD யானது தொடுகையாக அமையும். எனவே CD யானது ஒளிவிலகலுக்குப் பின் பெறப்படும் அலை முகப்பு ஆகும்.

மேற்கண்ட நிகழ்வு ஒளிவிலகலின் விதிகளுக்குட்பட்டு நிகழ்கிறது எனக் கண்டுகொள்வது எளிது.

$$\angle CAB = \text{படுகோணம்} = i$$
$$\angle ACD = \text{விலகுகோணம்} = r$$
$$\therefore \; {}_1\mu_2 = \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{BC}{AD} = \frac{v_1}{v_2} \qquad (16)$$

இங்கு, முதல் ஊடகத்தைச் சார்ந்து இரண்டாவது ஊடகத்தின் ஒளிவிலகல் எண் ${}_1\mu_2$ எனப்பட்டது. சமன்பாடு (16) ஒளிவிலகலில் **ஸ்நெல் விதி** (Snell's law) எனப்படும். மேலும், படுகதிர், AD மற்றும் A-யிலுள்ள குத்துக்கோடு ஆகிய மூன்று திசைகளும் ஒரே தளத்தில் அமைகின்றன என்பது கண்கூடு.

${}_1\mu_2 > 1$ எனில், முதல் ஊடகம் அடர்வு குறைவாகவும் இரண்டாவது ஊடகம் அடர்வு மிகுதியாகவும் உள்ளன என்றறிவோம் அப்படியாயின் $\frac{v_1}{v_2}$ என்பதும் ஒன்றைவிட உயர் மதிப்பு உடையதாக வேண்டும். இதன் பொருள் என்ன? அடர்குறை ஊடகத்தில் ஒளியின் திசைவேகமானது அடர்மிகு ஊடகத்தில் ஒளியின் திசைவேகத்தைவிட அதிகம் என்றறிகிறோம். அலைக் கொள்கையிலிருந்து பெறப்படும் இந்த முடிவு ஃபியூகோ சோதனையின் முடிவுகளுடன் ஒத்திருப்பது கவனிக்கத் தக்கது.



படம் 4-16

முழு அக எதிரொளிப்பு வடிவியல் விளக்கப் படம்

4.3.7, முழுஅக எதிரொளிப்பு

கண்ணாடியையும் காற்றையும் பிரிக்கும் ஒரு சமதளம் XY என்க XY-க்கு மேலே கண்ணாடியும் அதற்குக் கீழே காற்றும் உள்ளன.

தொடக்கத்தில் கண்ணாடியினுள் பாய்கின்ற ஒளிக்கதிர் OA ஆனது XY மீது A என்ற புள்ளியில் படுகிறது. இக்கதிரின் ஒரு பகுதி ஒளிவிலகலால் கீழேயுள்ள காற்றுக்குள் AB எனப் பாயும். மற்ற பகுதி கண்ணாடிக்குள்ளேயே AD என எதிரொளிக்கப்படும். (படம் 4-16 a) கண்ணாடியின் ஒளிவிலகல் எண் μ எனில் படத்தி லுள்ளபடி,

$$\frac{\sin i}{\sin r} = {}_g\mu_a = \frac{1}{{}_a\mu_g} = \frac{1}{\mu_g}$$

என்றாகும். படுகோணம் அதிகரிக்கும் பொழுது, விலகு கோணமும் அதிகரிக்கிறது. 'r' பெறக்கூடிய பெரும மதிப்பு 90° ; அப்படிப் பெறும்பொழுது, விலகு கதிரானது XY-ஐ தொட்டுக் கொண் டிருக்கும். (படம் 4-16.b). 'i' பெறக்கூடிய பெரும மதிப்பு.

$$\frac{\sin i}{\sin 90^\circ} = \frac{1}{\mu}$$

என்பதிலிருந்து பெறப்படுகிறது: 'i'-ன் இந்த பெரும மதிப்பு கண்ணாடியின் மாறுநிலைக் கோணம் 'C' எனப்படும். எனவே

$$\sin C = \frac{1}{\mu}$$

மாறுநிலைக் கோணம் C-யைவிட அதிகமான படுகோணங் களுக்கு, ஒளியானது கண்ணாடிக்குள்ளேயே முழுமையாக எதி ரொளிக்கப்படுகிறது (படம் 4-16 c). இதுவே முழு அக எதிரொளிப்பு எனப்படும். எனவே முழு அக எதிரொளிப்பு ஏற்படுவதற்குப் பின் கண்ட நியதிகள் நிறைவேற வேண்டும்:

(1) அடர்மிகு ஊடகத்திலிருந்து அடர்குறை ஊடகத்திற்கு ஒளி பாயவேண்டும் ; மற்றும் (2) அடர்மிகு ஊடகத்தினுள் படுகோணம், மாறுநிலைக் கோணத்தைவிட அதிகமாக இருத்தல் வேண்டும்.

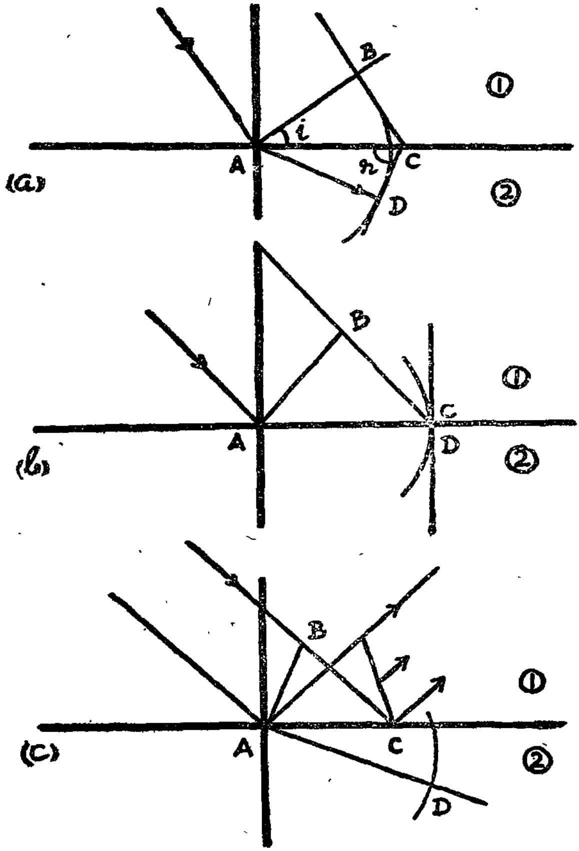
4.3.8. முழு அக எதிரொளிப்புக்கு அலைக்கொள்கை வழியான விளக்கம்

அடர்மிகு ஊடகத்திலிருந்து அடர்குறை ஊடகத்திற்கு ஒளி பாயும் நிகழ்வு சுவையானது. படம் 4-18-ஐக் கவனிக்க. ஒளியின் திசைவேகம் முதல் ஊடகத்தில் v_1 என்க ; இரண்டாவது ஊடகத்தில் அதுவே v_2 ஆகும். முதல் ஊடகம் அடர்மிகுதியாகவும், இரண்டாவது ஊடகம் அடர் குறைவாகவும் இருப்பின் v_2- வைவிட v_1 சிறியது- ஆகையால்,

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{BC}{AD} = \frac{v_1 t}{v_2 t} = \frac{v_1}{v_2} < 1$$

அல்லது, r ஆனது i-ஐ விடப் பெரியது. அதாவது ஒளிவிலக -லடையும் பொழுது அலைமுகப்பு குத்துக்கோட்டிலிருந்து விலகிச் செல்கிறது (படம் 4-17 a).

மேலும், $\frac{BC}{AD}$ -ன் மதிப்பு ஒன்றைவிடக் குறைவு என்ப



படம் 4-17

முழு அக எதிரொளிப்பு அலைக் கொள்கை

தாலும் △ ABC-ல் பக்கம் BC-ஆனது எப்பொழுதுமே பக்கம் AC-ஐ விடச் சிறியது என்பதாலும் மூன்றுவகையான நேர்வுகள் சாத்திய

மாறுகின்றன. இவை : (1) AD < AC (2) AD = AC மற்றும் (3) AD > AC என்பனவாம். AD < AC எனும்பொழுது,

$\sin r = \frac{AD}{AC}$ - ன் மதிப்பு ஒன்றைவிடக் குறைவு; அதாவது

$r < 90°$. 90° - ஐ விடக் குறைவாக 'r' அமையுமாறு உள்ள 'i' மதிப்புகளுக்கு அலைமுகப்பு விலகலடைவது சாத்தியம்.

i அதிகரிக்கும்பொழுது r-ம் அதிகரிக்கிறது. AD = AC எனும் பொழுது, $\sin r = 1$ அல்லது $r' = 90°$; அதாவது, ஒளி விலகலடைந்த அலைமுகப்பைப் பெறுவது தற்பொழுதும் சாத்தியம் : இதுவே ஒளிவிலகல் நிகழ்வதற்கு எல்லையாகும். (படம் 4-17 b). இந்த எல்லையில் ஒளிவிலகல் நிகழ்வதற்கு வேண்டிய i-ன் மதிப்பே அதற்கான பெரும மதிப்பு ஆகும். இப்பெரும மதிப்பு

$$\frac{\sin i}{\sin 90} = \sin C = \frac{v_1}{v_2}$$

என்பதிலிருந்து பெறப்படுகிறது. இதுவே மாறுநிலைக் கோணம் C ஆகும். இரண்டாவது ஊடகத்தைச் சார்ந்த முதல் ஊடகத்தின் மாறு நிலைக் கோணம் C ஆகும்.

AD > AC (படம் 4-17 c) எனும் பொழுதில், '$\sin r$'-ன் மதிப்பு ஒன்றைவிட அதிகமாக வேண்டும்; இது சாத்தியமல்ல ஆகையால், படுகோணமானது C-யைவிட அதிகமாகும்பொழுது ஒளிவிலகல் நிகழச் சாத்தியமில்லை. எனவே படுகின்ற ஒளிமுழுவதும் அடர்மிகு ஊடகத்தினுள்ளேயே எதிரொளிக்கப்படுகிறது. இதுவே முழு அக எதிரொளிப்பு எனப்படுகிறது.

AD = AC என்றதை மீண்டும் கவனிக்க; அப்பொழுது

$\sin C = \frac{v_1}{v_2}$ எனப் பெறப்படுகிறது. v_2-ஐ விட v_1 சிறியதானால்

தான் இவ்வாறு பெறுவது சாத்தியம். எனவே முதல் ஊடகம் அடர்வு மிகுதியாகவும் இரண்டாவது ஊடகம் அடர்வு குறைவாகவும் இருத்தல் வேண்டும். இதுவேதான் ஆரம்பத்தில் எடுகோளாகக் கொள்ளப்பட்டது.

இரண்டாவது ஊடகம் காற்று (அல்லது வெற்றிடம்) என்க. ஆக

$$\sin C = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\text{அடர்மிகு ஊடகத்தில் திசை வேகம்}}{\text{காற்று அல்லது (வெற்றிடத்தில்) திசைவேகம்}}$$

$$= \frac{1}{\text{அடர்மிகு ஊடகத்தின் ஒளிவிலகல் எண்}}$$

$$= \frac{1}{\mu}$$

எனவே முழு அக எதிரொளிப்பு நிகழ்வதற்குத் தேவையான நியதிக ளாவன : (1) அடர்மிகு ஊடகத்திலிருந்து அடர்குறை ஊடகத்திற்கு ஒளி பாயவேண்டும். (2) அடர்மிகு ஊடகத்தினுள் படுகோண மானது அந்த ஊடகத்தின் மாறுநிலைக் கோணத்தைவிட அதிகமாக இருக்க வேண்டும்.

இவ்வாறாக முழு அக எதிரொளிப்புக்கு அலைக்கொள்கை விளக்கம் தருகிறது.

4.3.9. டாப்ளர் விளைவு (Doppler Effect)

இரயில் பாதையினருகில் அமையும் ஆய்வாளர் ஒருவரை நெருங்கிவரும் இரயில் இஞ்சினின் ஊதல் ஒலி கீச்சொலியாகவும் (சுருதி உயர்வாகவும்) இன்சின் அவரை விட்டு விலகிச் செல்லும் பொழுது அதுவே தட்டையொலியாகவும் (சுருதி குறைவாகவும்) தோன்றுகிறது. மூலத்திற்கும் ஆய்வாளருக்கும் இடையே சார்பு இயக்கம் இருப்பதால் அதிர்வெண் மாறுவதாகத் தோன்றுகிறது. இதனையே டாப்ளர் விளைவு என்பர். டாப்ளர் விளைவு ஒளி யியலிலும் காணப்படுகிறது.

டாப்ளர் விளைவால் ஒளி அலைகளின் அதிர்வெண்ணில் ஏற்படும் தோற்றவியல் மாற்றமானது ஒளியின் அலை நீளத்தில் மாற்றமாகத் தெரிகிறது. இந்த அலைநீள மாற்றத்திற்கான கோவையைப் பின்வருமாறு பெறலாம்:

நிலையான ஒருவரை ஒளிமூலம் நெருங்குதல்

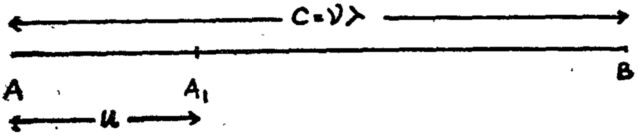
ஒளி மூலமானது ஒரு செகண்டில் ν அலைகளை வீசுகிறது. (ν = அதனுடைய அதிர்வெண்). வீசப்படும் ஒளியின் அலைநீளம் λ என்க; எனில் ஒளியின் திசைவேகம்

$$c = \nu\lambda$$

ஆகும்.

மூலமானது திசைவேகம் u-உடனும், ஒளியானது திசைவேகம் c-யுடனும் பார்வையாளரை நெருங்கட்டும். அத்துடன் ஒளி மூலமும், ஒளியும் ஒரே திசையில் பார்வையாளரை நெருங்குகின்றன. ஊடகமும் பார்வையாளரும் நிலையாக உள்ளனர். [படம் 4-18]

A-யில் உள்ள பொழுது ஒளி மூலம் ஒரு அலை முகட்டை வீசட்டும். ஒரு செகண்டில் இந்த முகடு தொலைவு c-யைக் கடந்து புள்ளி B-யை அடைந்திருக்கும். ஒளி மூலம் நகராமலிருந்தால் அது



படம் 4-18

டாப்ளர் விளைவு தத்துவம்

ν-வது அலை முகட்டையும் A-யிலிருந்தபடியே வீசும்; ஆகவே, A-க்கும் B-க்கும் இடையில் ν அலைகள் இருக்கும். ஆனால் ஒரு செகண்டில் மூலம் A_1-க்கு நகர்ந்து விட்டது; அதாவது $AA_1 = u$ ஆகும். A_1-ல் உள்ளபொழுது அது ν-வது அலையை வீசுகிறது. எனவே A_1-க்கும் B-க்கும் இடையிலும் ν - அலைகள் உள்ளன. எனவே,

$$\text{தோற்ற அலை நீளம் } \lambda' = \frac{A_1B}{\nu} = \frac{AB - AA_1}{\nu} = \frac{c-u}{\nu}$$

$$\nu = \frac{c}{\lambda} \text{ என்பதால் } \lambda' = \frac{c-u}{c}\lambda \text{ ஆகும்.}$$

$$\text{அலைநீள மாறுபாடு} = \lambda - \lambda' = \frac{u\lambda}{c}$$

இவ்வாறாக, ஒளி மூலம் பார்வையாளரை நெருங்கும்பொழுது அலை நீளம் குறைவதாகத் தோன்றுகிறது.

ஒளி மூலம் பார்வையாளரை விட்டு விலகுதல்

நிற்கின்ற பார்வையாளரை விட்டு ஒளி மூலம் விலகும்பொழுது u ஆனது எதிர்க்குறி பெறுகிறது. எனவே,

$$\lambda' = \frac{c+u}{c}\lambda$$

$$\text{அல்லது } \lambda - \lambda' = -\frac{u}{c}\lambda$$

இவ்வாறாக ஒளி மூலம் பார்வையாளரை விட்டு விலகும்பொழுது அலை நீளம் அதிகரிப்பதாகத் தோன்றுகிறது.

அலைநீள மதிப்பு மாறுவதானது (தோற்றவியல் மாறுபாடு) நிறமாலையில் வரிகள் இடம் பெயர்ந்திருப்பதாகத் தெரியும். இந்த இடப்பெயர்ச்சியை நிறமாலை வரைவியினால் அளந்து, அலைநீள மாற்றத்தைக் கணக்கிடலாம். எனவே, இயங்கு மூலத்தின் திசை வேகத்தின் அளவையும் திசையையும் நிர்ணயிக்கலாம்.

டாப்ளர் விளைவின் பயன்கள்

புவிமீது நிலையாக உள்ள ஒளிமூலமும் ஒரு விண்மீனும் தருகின்ற நிறமாலைவரிகள் ஒப்பீடப்படுகின்றன. சில விண்மீன்கள் தரும் நிறமாலைவரிகள் சிவப்பை நெருங்குகின்றன. எனவே இந்த விண்மீன்கள் புவியிலிருந்து விலகிச் செல்கின்றன என்பது முடிபு. வேறு சில விண்மீன்களின் நிறமாலை வரிகள் ஊதாவை நெருங்குகின்றன ; எனவே அவை புவியை நெருங்குகின்றன என்பது முடிபு.

சூரியனின் மேற்கு, கிழக்குப் விளிம்புகளிலிருந்து வரும் ஒளிக்கதிர்களை நிறமாலை வரைவி கொண்டு ஆராய்ந்து பார்த்ததில் சூரியன் தன் அச்சிலேயே மேற்கிலிருந்து கிழக்காகச் சுழல்கிறது என்று தெரிய வந்துள்ளது. இது போலவே பல கோள்களும் தங்கள் பாதைகளில் சுழன்று செல்கின்றன என்றும் கண்டுள்ளனர்.

சூடேற்றப்படும்பொழுது அணுக்களும் மூலக்கூறுகளும் மிகுதியான திசைவேகத்துடன் இயங்குவதால் அவை தருகின்ற நிறமாலை வரிகள் தடிக்கின்றன. இந்த வரிகளின் அகலங்களை அளந்து, பல்வேறு வெப்ப நிலைகளில் அணுக்களினுடையவும், மூலக்கூறுகளினுடையவுமான திசைவேகங்கள் மதிப்பிடப்பட்டுள்ளன. இந்த முடிவுகள் வாயுக்களின் இயக்கக் கொள்கைக்கு சான்றாக உள்ளன.

அண்டத்தில் காணப்படும் விண்மீன் திரள்களைப் பற்றியும், ஒளிர் முகில்களைப் பற்றியும் முன்னரே கற்றிருக்கிறீர்கள். மீத் தொலைவிலுள்ள இவை காட்டுகின்ற நிறமாலை வரிகள், டாப்ளர் விளைவு காரணமாக, மிக அதிகமாக சிவப்பு நோக்கிய இடப் பெயர்ச்சி பெறுகின்றன. எனவே இந்தத் திரள்களும் ஒளிர் முகில்களும் புவியை விட்டு நீங்குகின்றன என்பது முடிபு. இந்த முடிபை அடிப்படையாகக் கொண்டதே ‘விரிவடையும் அண்டம்’ என்ற கோட்பாடு.

சனி என்ற கோளினைச் சுற்றி வளையங்கள் காணப்படுகின்றன. இந்த வளையங்கள் திண்மமான வட்டுகள் அல்ல ; துகள்களின் நெருங்கூட்டமே என்ற முடிபு டாப்ளர் விளைவினுதவியால் நிறுவப்பட்டது.

இரட்டை விண்மீன்கள் கண்டு பிடிக்கப்பட்டது டாப்ளர் விளைவி னுதவியாலேயாகும். விண்மீன்கள் தங்களைத் தாங்களே சுற்றி வரு கின்றன.

இப்படிச் சுற்றுவதால் அவற்றின் நிறமாலையில் இடப் பெயர்ச்சி தெரிகிறது. இந்த ஆராய்ச்சியிலிருந்து இரட்டை விண் மீன்கள் சிலவற்றில் இரண்டுமே பிரகாசமானவை ; வேறு சிலவற்றில் ஒரு விண்மீன் பிரகாசமாகவும், மற்றது கருமையாகவும் உள்ளன ஆயினும் அவை ஒன்றைப் பற்றிச் சுழல்கின்றன. இத்தகைய இரட்டை விண்மீன்கள் நிறமாலையியல் இரட்டைகள் (spectroscopic binaries) என அழைக்கப் பெறுகின்றன.

ரேடாரினால் காணப்படும் இயங்குகின்ற பொருளின் திசை வேகத்தையும், அதன் திசையையும் நிர்ணயிக்க டாப்ளர் விளைவு உதவுகிறது.

4.4. குறுக்கீட்டு விளைவும் விளிம்பு விளைவும்

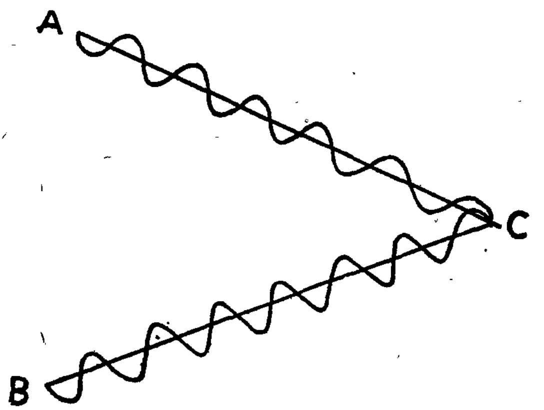
4.4.1. பாதை வேறுபாட்டிற்கும் கட்ட வேறுபாட்டிற்கும் உள்ள தொடர்பு

ஒரு அலையின் பாதையில் அமைந்த ஊடகத்துகள்களின் அதிர்வுகள் வெவ்வேறு நிலைமைகளில் உள்ளன என்று முன்பு கண் டோம். படம் 4-12 (e)-ல் A மற்றும் E போன்ற துகள்களின் அதிர்வுகள் ஒரே நிலைமையில் உள்ளன; அவற்றின் இடைத் தொலைவானது அலைநீளம் λ-க்குச் சமம். A யானது ஒரு முழு அலைவு முடித்திருக்கும் கணத்தில் E ஆனது தனது அலைவைத் தொடங்குகிறது; ஆகவே அவற்றின் கட்டங்கள் 2π அல்லது $360°$ வேறுபாடு உடையன. எனவே ஒரு அலை நீளத்திற்குச் சமமான தொலைவும் கட்ட வேறுபாடு 2π-ம் ஒத்திருக்கின்றன. ஆதலால் ஒரு அலையின் பாதையில் x இடைத்தொலைவு உடைய இரண்டு துகள் களின் கட்ட வேறுபாடு $\frac{2\pi x}{\lambda}$ ஆகும்.

மேலும் படம் 4-12 (e) ல் துகள்கள் B-யும் D-யும் எதிரெதி ரான கட்டங்களில் உள்ளன ; அவற்றின் இடைத் தொலைவு $\frac{\lambda}{2}$. ஆகவே, இடைத்தொலைவு $\frac{\lambda}{2}$ உடைய இரண்டு துகள்களின் கட்ட வேறுபாடு π ஆகும்.

A, B என்ற இருவேறு புள்ளிகளிலிருந்து (படம் 4-19) ஒரே கணத்தில் (அல்லது ஒத்த கட்டத்தில்) புறப்படும் இரண்டு அலைத்

தொடர்களைக் கவனிக்க. அலை இரண்டும் புள்ளி C-யை ஒருங்கே சேரட்டும். A-யில் புறப்பட்ட அலையானது தொலைவு AC-யை-யும், B-யில் புறப்பட்ட அலை தொலைவு BC-யையும் கடந்து வந்துள்ளன. இவற்றிடையே பாதை வேறுபாடு (AC—BC) ஆகும்.



படம் 4-19
பாதை வேறுபாடும் கட்ட வேறுபாடும்

(AC—BC)-ன் மதிப்பு $0, \lambda, 2\lambda$ ....$n\lambda$, (n ஒரு முழு எண்) எனில் இந்த அலைகளிடையே கட்ட வேறுபாடு $0, 2\pi, 4\pi, \ldots 2n\pi$ ஆகும். அதாவது இந்த அலைகள் C-யை ஒத்த கட்டத்தில் சேர்கின்றன.

(AC—BC)-ன் மதிப்பு $\frac{\lambda}{2}, \frac{3\lambda}{2}, \frac{5\lambda}{2} \ldots (2n-1)\frac{\lambda}{2}$ எனில் இவற்றிற்கு ஒத்த கட்ட வேறுபாடு $3\pi, 5\pi \ldots (2n-1)\pi$ ஆகும்; அதாவது அலைகள் C-யை எதிரெதிரான கட்டங்களில் சேர்கின்றன.

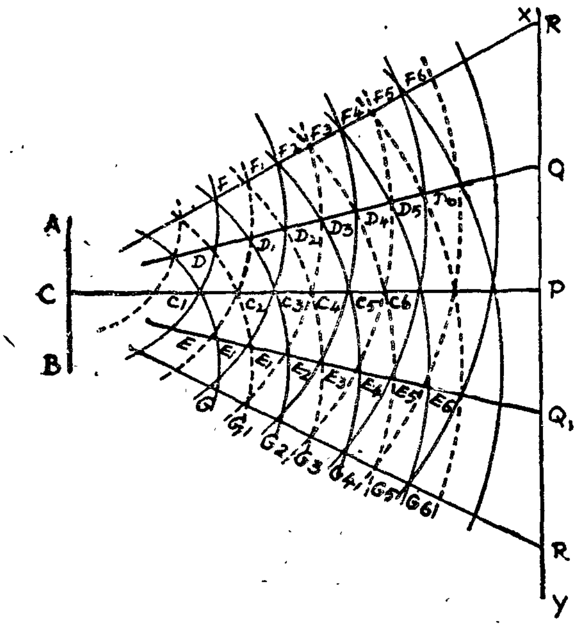
மறுதலையாக, கட்டவேறுபாடு சுழியெனில், பாதை வேறுபாடு $0, \lambda, 2\lambda$ இன்ன பிறவாகும்; கட்டவேறுபாடு π எனில் பாதை வேறுபாடு $\frac{\lambda}{2}, \frac{3\lambda}{2}, \frac{5\lambda}{2}$ இன்ன பிறவாகும்.

4.4.2. மேற்பொருத்தல் தத்துவம்

ஒரு ஊடகத்தின் வழியே இரண்டு அலைகள் ஒரே சமயத்தில் செல்கின்றபொழுது, ஒவ்வொரு அலையும், மற்ற அலை செல்ல

வில்லை என்ற பாணியில் செல்கின்றது. இந்த நோக்கில், அலைகள் ஒன்றுக்கொன்று குறுக்கிடுவதில்லை. ஆனால் ஊடகத்தின் ஒவ்வொரு புள்ளியிலும் ஏற்படும் இடப்பெயர்ச்சியானது தனித்தனியான இடப்பெயர்ச்சிகளின் தொகுபயன் ஆகும். இரண்டு அலைகளும் ஒரே கட்டத்தில் சேர்கின்ற புள்ளியில் மொத்த இடப்பெயர்ச்சி தனித்தனியான இரண்டு இடப்பெயர்ச்சிகளின் கூட்டுத் தொகையாகும்; அத்துடன் அது பெருமமும் ஆகும். இரண்டு அலைகளும் எதிரெதிரான கட்டங்களில் சேரும் புள்ளியில் மொத்த இடப்பெயர்ச்சி தனித்தனியான இடப்பெயர்ச்சிகளின் வேறுபாடாகும் அத்துடன் அது சிறுமமாகிறது. இதுவே மேற்பொருத்தல் தத்துவம் ஆகும்.

4. 4. 3 ஒளியின் குறுக்கீட்டு விளைவு (Interference)



படம் 4-20 (a)
அலைகளின் குறுக்கீடு—விளக்கப் படம்

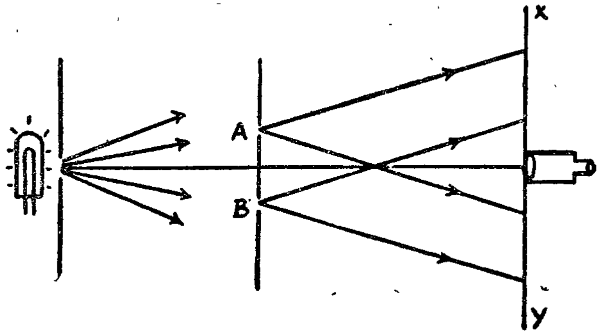
சம அலைநீளம், சமவீச்சு உடைய இரண்டு அலைத்தொடர்கள் ஒரே கட்டத்தில் புறப்படட்டும். இவ்விரு அலைகளும் ஓரியல் அலை

கள் (Coherent Waves) எனப்படுவன. படம். 4-20 (a)-ல் A-யும் B-யும் ஓரியல் அலைகளை வீசும் இரண்டு மூலங்களாகும். இந்த இரண்டு ஓரியல் அலைகளும் ஒரே ஊடகத்தில் பாய்ந்து மேற்பொருந்துகின்றன என்போம். அலைத் தொடர்களின் முகடுகள் முழுக் கோடுகளாலும், அவற்றின் அகடுகள் புள்ளிக் கோடுகளாலும் காட்டப்பட்டுள்ளன. ஒரு முகடு (அல்லது ஒரு அகடு) மற்றொரு முகட்டை (அல்லது அகட்டை)ச் சந்திக்கும் புள்ளிகளில் அலைகள் ஒத்த கட்டங்களுடையன. இதற்கு C_1, C_2, C_3, ..., F, F_1, F_2, ..., G, G_1, G_2, ... என்பன எடுத்துக் காட்டுகளாகும். இப்புள்ளிகளில் இடப்பெயர்ச்சி பெருமமாகும்; எனவே இவை பொலிவுடனுள்ளன. ஒரு முகடு, ஒரு அகட்டைச் சந்திக்கும் புள்ளிகளில் அலைகள் எதிரெதிரான கட்டங்களுடையன. இதற்கு D, D_1, D_2, ... , E, E_1, E_2, ... என்பன எடுத்துக்காட்டுகளாகும். இப்புள்ளிகளில் இடப்பெயர்ச்சி சுழியாகும். எனவே இவை கருமையாக உள்ளன. இந்த நிகழ்வே ஒளியின் குறுக்கீட்டு விளைவு ஆகும்.

இரண்டு தனித்தனியான ஒளிமூலங்களிலிருந்து ஓரியல் அலைகளைப் பெற இயலாது. எனவே ஒரே ஒளிமூலத்திலிருந்து இரண்டு ஓரியல் அலைகளைப் பெறத் தகுந்த வழிகள் கையாளப்படுகின்றன.

4.4.4. யங் இரட்டைப் பிளவுச் சோதனை

சோடிய - ஆவி விளக்கிலிருந்து ஒற்றைநிறஒளி (செங்குத்தான) பிளவு S மீது விழுகிறது. ஒளியின் அலைநீளம் λ. (படம் 4-20b)



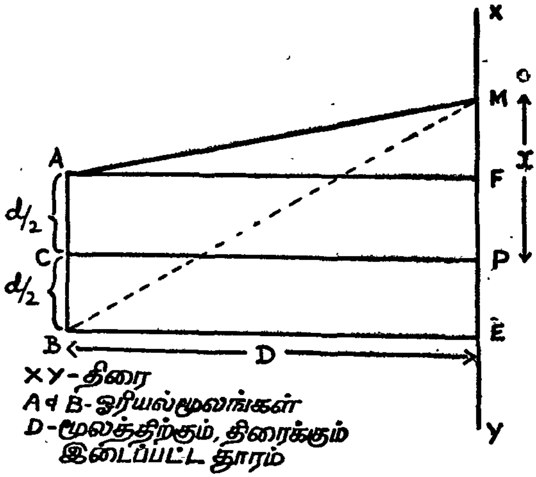
படம் 4-20 (b)
யங் இரட்டைப்பிளவுப் பரிசோதனை

S-க்கு மிக அருகில் இணையாக வேறிரு மெல்லிய பிளவுகள் A, B உள்ளன; A, B ஒவ்வொன்றும் சுமார் 0·03மிமீ அகலமுடையவை

அவற்றின் இடைத் தொலைவு சுமார் 0·3 மிமீ ஆகும். A-யும், B-யும் S லிருந்து சமதொலைவிலுள்ளனவாதால், S-லிருந்து விரிந்து செல்லும் அலைகள் A, B மீது சமகட்டங்களில் விழுகின்றன. A-யும் B-யும் மிக மெல்லியனவாதலால், அவை வழியே பாய்ந்தபின் அலைகள் கணிசமாக விரிவடைந்து பரவுகின்றன; இதனால் அவை மீதுறுகின்றன. பிளவுகளிலிருந்து சுமார் 1 மீட்டர் தொலைவில் ஒரு திரை XY வைக்கப்பட்டால், திரை மீது அலைகள் மீதுறும் பகுதியில் இருள்வரிகளும் ஒளிவரிகளும் மாறி மாறிக் காணப்படுகின்றன. இவையே குறுக்கீட்டு வரிகள் (அல்லது பட்டைகள்) எனப்படும். திரையில்லாவிட்டாலும் கண் லென்சு (eye piece) வழியாகக் குறுக்கீட்டு வரிகளைக் காணலாம்.

ஏதாவதொரு பிளவு மூடப்பட்டு விட்டால் வரிகள் மறைந்து விடுகின்றன. எனவே, இருள்வரிகள் தோன்றக் காரணம் ஒளி அலைகளின் நாசக் குறுக்கீடு (Destructive Interference) தான் என்பது விளங்கும். இருள்வரிகளிலிருந்து மறைந்து ஒளி ஆற்றல் பொலிவான வரிகளில் தோன்றி அவற்றின் பொலிவை அதிகரிக்கின்றது.

4.4.5. குறுக்கீட்டுப் பட்டையின் அகலம்



படம் 4-21

குறுக்கீட்டு விளைவு — பட்டை அகலம்

படம் 4-21-ல் AB-யின் மையப் புள்ளி C என்க; C, A, மற்றும் B-யிலிருந்து திரைக்கு நேர்குத்தான கோடுகள் வரையப்பட்டுள்ளன. இவை திரையை P, F மற்றும் E-ல் சந்திக்கின்றன. AB = d,

CP = D என்க. திரைமீது PM = x உள்ளவாறு M என்ற புள்ளியைக் கவனிக்க. செங்கோண முக்கோணம் AMD-ல்

$$AM^2 = AF^2 + FM^2$$

$$= D^2 + \left(x - \frac{d}{2} \right)^2$$

செங்கோண முக்கோணம் BEM-ல்

$$BM^2 = BE^2 + EM^2$$

$$= D^2 + \left(x - \frac{d}{2} \right)^2$$

ஆகையால் $BM^2 - AM^2 = \left(x + \frac{d}{2} \right)^2 - \left(x - \frac{d}{2} \right)^2$

$$\therefore (BM + AM)(BM - AM) = 2xd.$$

P-க்கு அருகில் M இருந்தால் BM + AM = 2D என்றெழுதலாம். A மற்றும் B-யிலிருந்து ஒருங்கே புறப்பட்ட அலைகள் M-ஐ அடையும்பொழுது அவற்றின் பாதை வேறுபாடு (BM — AM) = δ என்க.

எனவே $2D\delta = 2xd$

ஆகையால் $\delta = \frac{xd}{D}$ மற்றும் $x = \frac{D\delta}{d}$

பாதை வேறுபாடு $\delta = n\lambda$ எனில், M பொலிவுடனிருக்கும்; இங்கு $n = 1, 2, 3$ .... என்று கொள்ளப்படுகிறது. n-ஐ ஒளிவரி, பட்டைகளின் வரிசை எண் (order of the bright bands) எனலாம்.

$\delta = (2n - 1)\frac{\lambda}{2}$ எனில், M கருமையாக இருக்கும்; இங்கு

இருள்வரிகளின் வரிசை எண் (order of the dark bands) n ஆகும்.

AP, BP என்ற சமதொலைவுகளைக் கடந்தபின் அலைகள் P-யைச் சேர்கின்றன; எனவே அவற்றிடையே பாதை வேறுபாடு சுழியாகும். எனவே அலை P-ல் ஒன்றுக்கொன்று வலிவூட்டுகின்றன. ஆதலால் P யானது பொலிவு பெறுகிறது. P-ல் உள்ள ஒளிவரி மைய வரியாகும்.

P-லிருந்து ஒளிவரி ஒன்றிற்கு உள்ள தொலைவு

$$x = \frac{Dn\lambda}{d}\ ; \quad \text{இங்கு } n = 1, 2, 3 \ldots\ldots$$

P-யிலிருந்து இருள்வரி ஒன்றிற்குத் தொலைவு

$$x = \frac{D}{d}(2n - 1)\frac{\lambda}{2}\ ; \quad \text{இங்கு } n = 1, 2, 3 \ldots\ldots$$

இவ்வாறு திரைமீது மைய ஒளிவரி இரு மருங்கிலும் இருள்வரிகளும், ஒளிவரிகளும் மாறி மாறித் தோன்றுகின்றன. ஒளிவரிகளின் இடைத்தொலைவும், இருள்வரிகளின் இடைத் தொலைவும் சமமாக உள்ளன. அடுத்தடுத்த இரண்டு இருள் வரிகளின் (அல்லது ஒளிவரிகளின் இடைத் தொலைவு வரி அகலம் (band width) எனப்படும். எனவே வரி அகலம்,

$$\beta = \frac{D}{d}(n + 1)\lambda - \frac{D}{d}n\lambda = \frac{D\lambda}{d}$$

ஆகும்.

குறுக்கீட்டுப் வரிகள் தெளிவாகவும், அகலமாகவும் பெறப் படுவதற்கு பின்கண்ட நியதிகள் நிறைவேற வேண்டும்:

1. குறுக்கிடுகின்ற இரண்டு அலைகளும் முற்றிலும் ஓரியல்பு உடையனவாக வேண்டும்.
2. A,B என்ற இரண்டு மூலங்களும் மிக நெருக்கமாக அமைய வேண்டும்.
3. மூலங்களிலிருந்து திரையின் தொலைவு இயன்ற அளவுக்கு அதிகமாக இருக்க வேண்டும்.

4.4.6. வெள்ளொளி தரும் குறுக்கீட்டு விளைவு

யங் இரட்டைப் பிளவு சோதனையில் (பகுதி 4.4.4.) ஒற்றைப் பிளவானது ஒரு நிற ஒளியால் ஒளியூட்டப் பெறும் பொழுது திரையில் இருள்வரிகளும் ஒளிவரிகளும் தோன்றக் கண்டோம். மாறாக ஒற்றைப் பிளவானது வெண் வெள்ளொளியால் ஒளியூட்டப் பெறுமாயின், இருள், ஒளிவரிகளுக்குப் பதில் மைய, வெண்ணிற ஒளிவரி ஒன்றின் இருமருங்கிலும் பல்வேறு வண்ண ஒளிவரிகள் தோன்றுவதைக் காணலாம். இதனைப் பின்வருமாறு விளக்கலாம்:

வெள்ளொளியானது கண்ணுறு பகுதியில் அமையக்கூடிய எல்லா அலை நீளங்களையும் கொண்டுள்ளது. அத்தகைய அலை நீளம் ஒவ்வொன்றும் இருள், ஒளிவரிகளைக் கொண்ட குறுக்கீட்டு வரி அமைப்புக்களை உருவாக்கும். அவை ஒன்றின் மீதொன்று பொருந்தி தொகு பயன் வரிப் பாங்கம் ஒன்றை உருவாக்கும். ஒரு குறுக்கீட்டு வரி அமைப்பில் வரியிடைத் தொலைவு ஒளியின் அலை

நீளத்தைச் சார்ந்திருப்பதால் (வரி அகலம் $\beta = \frac{D}{d}\lambda$) மைய நிலை (படம் 4-21ல் P) யைத் தவிர ஏனைய புள்ளிகளில் மேற் பொருந்துதல் நுட்பமாக அமையாது. எனவே தொகுப் பயன் வரி யாங்கம் பல வண்ண ஒளிவரிகளைக் கொண்டமைகிறது. மேலும் P-ல் எல்லா அலை நீளங்களுக்கும் உரிய மையவரிகள் நுட்பமாக மேற் பொருந்துவதால் அங்கு வெண்ணிற ஒளிவரி தோன்றுகிறது.

4 4 7 எதிரொளிப்பால் ஏற்படும் கட்டமாற்றம்

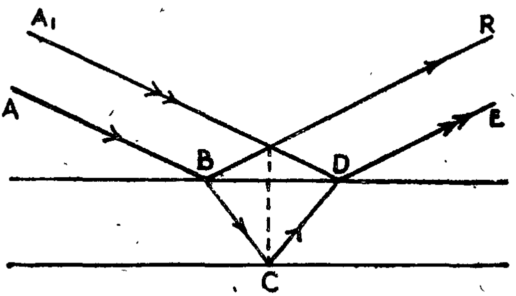
அடர்குறை ஊடகத்தில் பாயும் ஒளி ஒரு அடர்மிகு ஊடகப் பரப்பினால் எதிரொளிக்கப்படும் பொழுது π அல்லது 180° கட்ட மாற்றத்தைத் தானாகவே அடைகிறது என்று சோதனைகளும், பகுப் பாய்வுகளும் நிறுவியுள்ளன. இதனால் ஒரு முகடானது அகடாகவும், ஒரு அகடானது முகடாகவும் எதிரொளிக்கப்படுகிறது.

ஆனால் அடர்குறை ஊடகப்பரப்பு எதிரொளிக்கும் பொழுது கட்ட மாற்றம் ஏற்படுவதில்லை.

4.4.8. பல்கிய எதிரொளிப்புகளால் குறுக்கீட்டு விளைவு—மெல்லிய ஏடுகளின் வண்ணங்கள்

மெல்லிய ஒளிபுகும் ஏட்டின்மீது வெள்ளொளி விழும்பொழுது பொலிவான வண்ணங்கள் தெரிகின்றன. இதற்கு மைகா இதழ்கள், சோப்புக் குமிழி, நீரில் மிதக்கும் எண்ணெய் ஏடு முதலியன எடுத்துக் காட்டுகளாம். மெல்லிய ஏட்டின் மேல்தளம் மற்றும் கீழ்தளங்களில் எதிரொளிக்கப்படும் ஒளியின் குறுக்கீட்டு விளைவால் வண்ணங்கள் தோன்றுகின்றன.

இணையான இரண்டு தளங்களுடைய மெல்லிய ஏட்டைக் கவனிப்போம் (படம் 4-22). இதன்மீது சமதள முகப்பு உடைய அலை விழுகிறது. AB என்பது படுகதிர். விழுகின்ற ஒளி ஆற்றலில்



படம் 4-22

மெல்லிய ஏட்டில் பல்கிய எதிரொளிப்புகள்

ஒரு பகுதி திசை BR-ல் எதிரொளிக்கப்படுகிறது : மற்ற பகுதி யானது ஏட்டினுள் திசை BC ஒளி விலகல் பெற்றுச் செல்கிறது.

இதனில் ஒரு பகுதியை ஏட்டின் கீழ்த்தளம் CD என்ற திசையில் எதிரொளிக்கிறது ; இதுவே DE என்ற கதிரைத் தருகிறது. புள்ளி D-ல் விழுகின்ற கதிர் A_1D-யின் எதிரொளிக்கப்படும் பகுதியும் ஏறத்தாழ திசை DE-யில் செல்கிறது. எனவே இரண்டு கதிர்கள் புள்ளி D-யில் மேற் பொருந்துகின்றன. இவை கடந்து வந்த தொலைவுகள் சிறிதளவு வேறுபடுகின்றன. இந்த பாதை வேறுபாட்டைப் பொருத்து அவை ஒன்றையொன்று வலிவூட்டும் ; அல்லது அழிக்கும்.

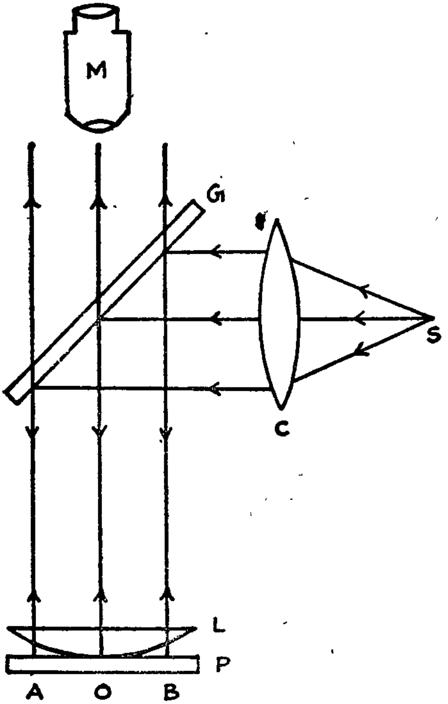
இக்கதிர்களுடைய பாதைவேறுபாடு அலைநீளத்தில் முழு மடங்குகளானால் அலைகள் இரண்டும் D-ல் சமகட்டத்தில் சந்திக்கின்றன. ஆனால் கதிர் A_1Dயானது அடர்மிகு ஊடகப்பரப்பில் எதிரொளிக்கப்படுகின்றன; ஆகவே மொத்த பாதை வேறுபாடு $\frac{\lambda}{2}$ அளவு அதிகமாகிறது அதுமட்டும் கட்டமாற்றம் π (அல்லது 180°) பெறுகிறது. ஆதலால் பாதைவேறுபாடு ($n\lambda$)க்குச் சமமானால் நாசக்குறுக்கீடு ஏற்படும். எனவே ஒற்றை நிற ஒளியானது ஏட்டின்மீது விழும்பொழுது, புள்ளி D கருமையாகத் தெரிகிறது. ஆனால் பாதைவேறுபாடானது அரை அலைநீளத்தின் ஒற்றைப் படை முழுமடங்குகளானால், இரண்டு அலைகளும் D-யில் ஒத்தகட்டம்பெறுகின்றன. எனவே அவை ஒன்றுக்கொன்று வலிவூட்டுகின்றன; இதனால் அந்தப்புள்ளி பொலிவு பெறுகிறது.

வெள்ளொளியானது சோப்பு ஏட்டின்மீது விழட்டும். வெவ்வேறு நிறங்களின் அலைநீளங்கள் 400 nm முதல் 780 nm வரையுள்ளன. குறுக்கீட்டில் ஒரேயொரு நிறம் மட்டும் வலிமை பெற மற்றவை மறையும் வகையில் D-யில் பாதை வேறுபாடு இருக்கலாம். இதனால் வலிமைபெற்ற நிறமானது புள்ளி D-யில் தெரிகிறது. இது போல ஏட்டின்மீது வெவ்வெறு புள்ளிகள் வெவ்வெறு நிறமுடன் தோன்றுகின்றன.

4.4.9. நியூட்டன் வளையங்கள் (Newton's Rings)

அதிகக் குவியத்தொலைவு உடைய தட்டக்குவிலென்சு L-ஐ சமதளக் கண்ணாடிப் பலகை P-மீது வைக்க. லென்சின் கோளகத் தளம் பலகை மீது படியட்டும். (படம் 4-23). இவற்றிடையே மெல்லிய காற்றேடு (air film) உருவாகியுள்ளது. ஒற்றை நிறம் தரும் விளக்கு S-ஐ (சோடியம் விளக்கு) இணையாக்கும் லென்சு C-ன் குவியத்தளத்தில் வைக்க. C-யை விட்டு நீங்கும் ஒளி இணை கற்றையாக இருக்கும். கிடக்கைக் கோட்டிற்கு 45° சாய்வான கண்ணாடித்தகடு G-மீது இணைகற்றை விழுகிறது. அதனை

G-யானது செங்குத்தாக கீழ் நோக்கி எதிரொளிக்கிறது. பின்னர் ஒளிக்கற்றையானது L-மீது குத்தாக விழுகிறது. இதில் ஒரு பகுதி லென்சினுடைய கோளகத் தளத்தில் எதிரொளிக்கப்படுகிறது. மற்ற பகுதி P-யின் மேற்றளத்தில் எதிரொளிக்கப்பட்டபின் ஒளிக்கற்றைகள் செங்குத்தாக மேல்நோக்கிச் செல்கின்றன. இவை கண்ணாடித் தகடு G-யை ஊடுருவிச் சென்று நுண்ணோக்கி M-ஐ அடைகின்றன.



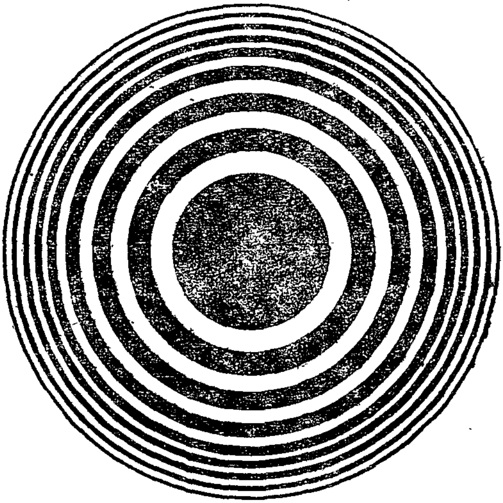
படம் 4-23 (a)
(a) நியூட்டன் வளைய சோதனை

நுண்ணோக்கி M-ஐ காற்றேட்டின் மீது குவியமாக்கினல், ஒளி வளையங்களும், இருட்டு வளையங்களும் மாறிமாறித் தெரிகின்றன. வளையங்களின் பொதுமையம் கருமையாக இருக்கிறது. இப்பொது மையம் லென்சும், கண்ணுடிப் பலகையும் தொட்டுக் கொள்கின்ற புள்ளியேயாகும். (படம் 4—23-b)

L-ஆனது P-யைத் தொடுகின்ற புள்ளியில் காற்றேட்டின் தடுப்பு சுழியாகும். ஆகையால் குறுக்கிட்டுக் கொள்ளும் ஒளிக்கற்களிடையே பாதைவேறுபாடு இல்லை; ஆனால் அடர்மிகு

கண்ணாடிப் பலகையின் தளத்தில் எதிரொளிக்கப்படும் ஒளியானது கட்டமாற்றம் π அடைகின்றது; லென்சின் கோளகத் தளத்தில் எதிரொளிக்கப்படும் ஒளிக்கு கட்டமாற்றம் இல்லை. ஆகையால் பொதுமையம் O-ல் மொத்தத்தில் கட்டவேறுபாடு π உள்ளது; இதனால் இப்புள்ளி கருமையாக உள்ளது.

கண்ணாடிப் பலகையை லென்சு தொடுகின்ற புள்ளியிலிருந்து தொடங்கி காற்றேட்டின் தடிப்பு அதிகரிக்கிறது. காற்றேட்டில் சம தடிப்புடைய எல்லாப்புள்ளிகளும் ஒரு வட்டத்தில் அமைகின்றன. எதிரொளிக்கப்பட்ட கற்றைகளிடையே பாதைவேறுபாடு வரிசையாக



படம் 4-23 (b)
நியூட்டன் வளையங்கள்

$\frac{\lambda}{2}, \frac{3\lambda}{2}, \frac{5\lambda}{2}$ .... என்றமையுமாறு காற்றேட்டின் தடிப்பு இருக்கு மானால் கற்றைகள் ஒன்றையொன்று வலிவூட்டுகின்றன; எனவே பொலிவான வளையங்கள் கிடைக்கின்றன. பாதைவேறுபாடு $\lambda, 2\lambda, 3\lambda$....என்றமையுமாறு தடிப்பு இருக்குமானால் கருப்பு வளையங்கள் கிடைக்கின்றன.

லென்சினுடைய கோளகத் தளத்தின் ஆரம் R எனில், n-வது கருப்பு வளையத்தின் ஆரம்

$$\sqrt{nR\lambda}$$

என நிறுவலாம்; λ என்பது ஒளியின் அலைநீளம்; மற்றும் n என்பது கருப்பு வளையத்தின் வரிசை எண் ஆகும். இக்கோவையைப் பயன்படுத்தி, ஒளியின் அலைநீளத்தை மதிப்பிடலாம்.

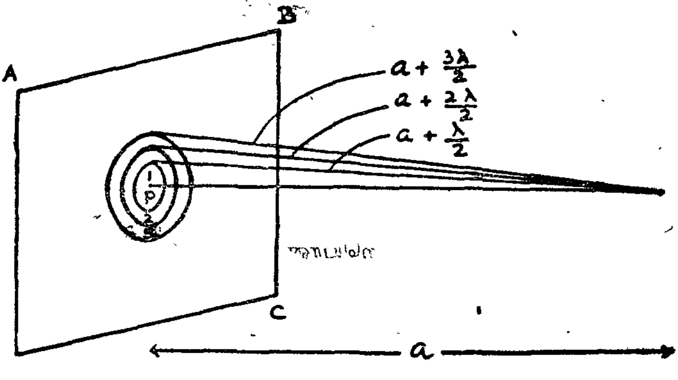
ஒளிபற்றிய அலைக்கொள்கைக்கு இச்சோதனை உறுதுணையாகிறது, நியூட்டன் வளையங்களை முதன்முதலாகக் கண்டவர் இராபர்ட் ஹூக்; அவற்றை ஆராய்ந்தவர் நியூட்டன். நுண்ணிமக் கொள்கையால் நியூட்டன் வளையங்களை விளக்க இயலாது.

4.4.10. ஒளியின் விளிம்பு விளைவு (Diffraction)

ஒரு தடையின் விளிம்புகளில் அலைகள் வளைந்து அதற்கப்பால் தடையின் நிழற்பகுதிக்கும் செல்வது **விளிம்பு விளைவு** எனப்படும். ஒளியானது அலையியக்கமாகப் பரவுகிறது என்றால் அதன் பாதையிலுள்ள ஒளிபுகாத்தடைகளில் அது வளைய வேண்டும். ஒளியின் அலைநீளம் மீச்சிறு மதிப்புடையது ஆதலால் அது தடையின் நிழலுக்குள் வளைவது குறைவாகவேயுள்ளது; எனவே இந்த விளைவு எளிதில் புலப்படாது. ஒளியானது விளிம்பு விளைவு அடைவதை மிக்க கவனத்துடன் அமைக்கப்பட்ட சோதனைகளின் மூலம் அறியலாம். ஒளி அலைகளின் அலை நீளத்திற்கு ஒப்பிடத் தக்க அளவுக்குச் சிறியதாகத் தடையின் அளவுகள் இருக்குமானால் ஒளியின் விளிம்பு விளைவு நன்கு புலப்படும்.

4.4.11 அரை அலைவுநேர மண்டிலங்கள் (Half Period Zones)

கணிப்புப்புள்ளி (point of observation)யைப் பொறுத்து, ஒரு அலைமுகப்பை சமபரப்பு உடைய பல மண்டிலங்களாகப் பிரிக்கலாம், அடுத்தடுத்த இரண்டு மண்டிலங்களிலிருந்து புறப்படும்



படம் 4-24

சமதள அலை முகப்பில் கற்பனை அரை அலைவுநேர மண்டிலங்கள்

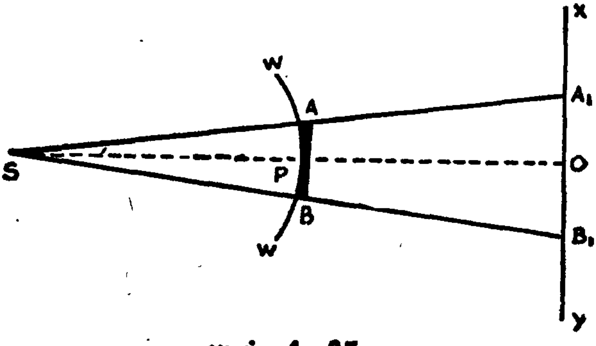
அலைக் குட்டிகள், புள்ளி O-ஐ அடையும்பொழுது அவற்றிடையே

கட்டவேறுபாடு π இருக்கும். அடுத்தடுத்த இரண்டு மண்டிலங்களிலிருந்து வரும் அலைக்குட்டிகள் P-யை சமகட்டத்தில் அடைய வேண்டுமானால், ஒரு மண்டிலத்திலிருந்து வருபவை மற்றமண்டிலத்திலிருந்து வருபவற்றைவிட அரை அலைவு நேரம் முன்னதாகப் புறப்பட்டிருக்கவேண்டும். எனவே மண்டிலங்களிலிருந்து வருகின்ற அலைக்குட்டிகளிடையே அரை அலைவுநேரம் வேறுபாடு உள்ளது. எனவே அரை அலைவுநேர மண்டிலங்கள் என்ற பெயர் ஏற்பட்டது. இந்த மண்டிலங்களின் பரப்பு மீச்சிறியது; ஆனாலும் மண்டிலங்கள் சமபரப்பு உடையன.

600 nm அலைநீளமுடைய அலையின் முகப்பரப்பிலிருந்து 50 செமீ தொலைவில் 1·6 செமீ விட்டமுடைய தடை (ஒரு பைசா காசு) ஒன்றை வைப்போம். அலைமுகப்பிலிருந்து 100 செமீ தொலைவிலுள்ள புள்ளியிலிருந்து அதைப் பார்க்கும்பொழுது இத்தடையானது சுமார் 200 மண்டிலங்களை மறைத்து விடும்.

4. 4. 12. வட்டத்தகடு ஏற்படுத்தும் விளிம்பு விளைவு

பிரகாசமான விளக்கிலிருந்து ஒளியானது ஊசித்துளை S-மீது விழுகிறது. (படம் 4-25 காண்க). S லிருந்து விரிந்துசெல்லும்



படம் 4 - 25

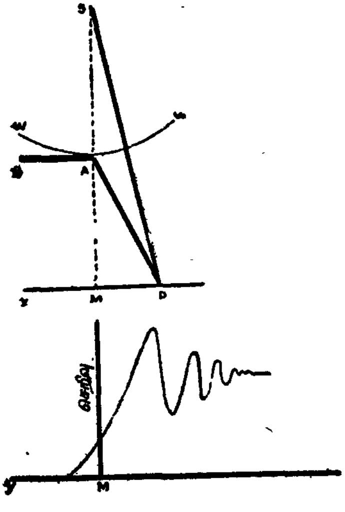
வட்டத் தகட்டில் விளிம்பு விளைவு

அலைகளின் பாதைக்குக் குத்தாக, AB என்ற வட்டத்தகடு (இதன் விட்டம் 5மிமீ) வைக்கப்படுகிறது. S-லிருந்து AB-ன் தொலைவு சுமார் 2 மீட்டர். AB-யிலிருந்து 2 மீட்டர் தொலைவில் திரை XY வைக்கப்படுகிறது.

நிழல் A_1B_1-ஐக் கூர்ந்து கவனிக்க. அதன் மையம் O-வில் பொலிவான சிறிய புள்ளியாக ஒளி தெரிகிறது. நிழலின் மையத்தை

அடைவதற்கு ஒளிக்கதிர்கள் வட்டத்தகட்டின் விளிம்புகளில் வளைந்து வந்திருக்கவேண்டும். மையத்தில் மட்டும்தான் பொலிவான புள்ளி தென்படுகிறது: ஏனெனில் வட்டத்தகட்டின் விளிம்பு நெடுகிலும் உள்ள பகுதியிலிருந்து புறப்படுகின்ற அலைக்குட்டிகள் இப்புள்ளியில் மட்டும்தான் சமகட்டத்தில் வந்துசேர்கின்றன. அதனால் ஒன்றுக்கொன்று வலிவூட்டுகின்றன.

எனினும், வட்டத்தகடானது ஒரு சில அரைநேர மண்டிலங்களை மட்டும் தடுத்துவிட்டால் மையப்புள்ளி மங்கலாகிவிடுகிறது. கண்ணுக்குத் தெரிவதில்லை. இத்துடன்கூட நிழலின் விளிம்பைச் சுற்றிலும் வளையங்கள் தெரிகின்றன; இந்த வளையங்களின் இடைத்தொலைவுகள் சமமாக இல்லை; அவற்றின் அகலங்களும் சமமாக இல்லை. இந்த வளையங்களின் பொலிவும் பெருமம், சிறுமம் என மாறி மாறி உள்ளது. தடையினால் தடுக்கப்படாத அரைநேர மண்டிலங்களிலிருந்து வருகின்ற அலைக்குட்டிகள் தங்களுக்குள்ளே குறுக்கிடுவதால் இந்த வளையங்கள் தோன்றுகின்றன. இந்த நிகழ்வுக்கு விளக்கம்தர அலைக் கொள்கையால் இயலும்.



படம் 4 - 26
நேர்விளிம்பில் விளிம்பு விளைவு—பொலிவுப் பங்கீடு

4.4.13. நேர்விளிம்பு ஏற்படுத்தும் விளிம்பு விளைவு

படம் 4-26 காண்க. S என்பது ஒளியூட்டப்பட்ட மெல்லிய பிளவு ஆகும். அதன் நீளம் படத்திற்கு நேர்குத்தாயுள்ளது. இதிலிருந்து வெளியேறும் அலைகள் உருளை வடிவமுடையன. AC என்பது ஒரு ஒளிபுகாப் பலகையின் நேர்விளிம்பு ஆகும். விளிம்பு AB ஆனது S-க்கு இணையாக உள்ளது. விளிம்பின் மீது விழுகின்ற அலைமுகப்பரப்பின் வெட்டுத்தோற்றம் WW ஆகும்.

திரை XY-ஐ M-ல் சந்திக்குமாறு SA-ஐ நீட்டுக. தடை AB-ன் நிழலினுடைய விளிம்பில் M இருக்கும். திரையின் பகுதி MY-ஆனது

முற்றிலும் கருமையாகவும், அதன்பகுதி MX ஆனது சீரானபொலி வுடனும் இருக்கவேண்டும் என்று எதிர்பார்க்கிறோம் ஏனெனில், ஒளி நேர்கோட்டுப்பாதையில் செல்வதெனில் அப்படித்தானே நிகழும்! கூர்ந்து கவனித்தால் படம்4-26-ல் வரைபடத்தில் காண்பதுபோல பொலிவுப்பங்கீடு உள்ளது தெரியும். நிழலின் விளிம்பு M கூர்மையாக இல்லை. வடிவவியலான நிழற்பகுதிக்குள்ளும் சிறிது பொலிவு தெரியும்; ஆனால் இப்பொலிவு M-லிருந்து வேகமாகச்சரிந்து சிறிதுதொலைவிலேயே சுழியாகிவிடுகிறது.

M-க்கு வலப்பக்கத்தில் நிழற்பகுதிக்கு அருகில் சில வரிகள் தென்படுகின்றன; இவ்வரிகளின் பொலிவு பெருமம், சிறுமம் என மாறி மாறி உள்ளது. இந்த வரிகள் நிழலின் விளிம்புக்கு இணையாக உள்ளன. இவை **விளிம்பு விளைவு வரிகள் (Diffraction Fringes)** எனப்படும். விளிம்பு விளைவு வரிகள் சீரான அகலமுடையன அல்ல; நிழலுக்கு மிக அருகாமையிலுள்ள வரியே மிக அகலமானது, மிகப் பொலிவு உடையதும் ஆகும். நிழலிலிருந்து விலகிச்செல்லச் செல்ல பொலிவான வரிகள் தங்களுக்குள் நெருங்குகின்றன. பெருமம், சிறுமமான பொலிவுகளும் நெருங்கிவந்து சீராகிவிடுகின்றன. சோதனையில் வெள்ளொளி பயன்படுத்தினால் வெவ்வேறு நிறங் களுடைய வரிகள் பெறப்படுகின்றன.

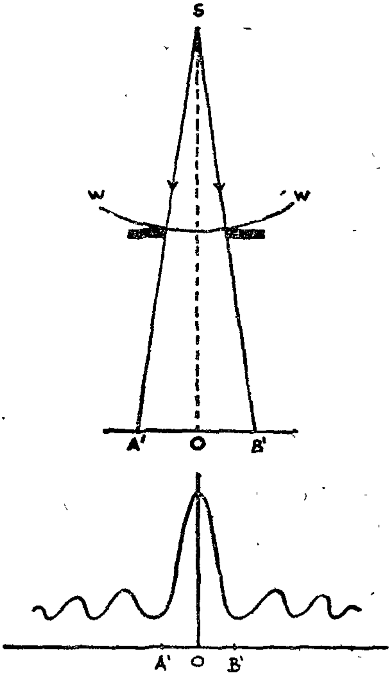
விளிம்பு விளைவு வரிகள் எவ்வாறு தோன்றுகின்றன என்றும் அவற்றின் தன்மையையும் அலைக்கொள்கை விளக்குகிறது.

4.4.14. மெல்லிய பிளவு தோற்றுவிக்கும் விளிம்பு விளைவு

படம் 4-27 காண்க. S என்பது ஒளியூட்டப்பட்ட மெல்லிய பிளவு. AB என்பது மற்றொரு மெல்லிய பிளவு. AB ஆனது S-க்கு இணையாக உள்ளது. S-லிருந்து விரிந்துபரவும் அலைமுகப்பு உருளை வடிவமுடையது; இதன் ஒரு பகுதி ABமீது விழுவதை WW குறிக்கிறது. திரைமீது கிடைக்கின்ற ஒளிப்பட்டை A'B' சீரான பொலிவுடையதாக இருக்கவேண்டும் என எதிர்பார்க்கிறோம். கூர்ந்து நோக்கினால், மாறிமாறிப் பெருமம், சிறுமமான பொலிவுகளுடன் வரிகள் A'B'க்குள் தெரிகின்றன. அத்துடன் A'-க்கு அருகிலும் B'-க்கு அருகிலும் உள்ள நிழற்பகுதிகளில் குறுக்கீட்டுப்பட்டைகளும் தெரிகின்றன.

பிளவினை மிக மெல்லியதாக ஆக்குவோம்; (BA'—AA') என்ற பாதை வேறுபாடானது அரைஅலை நீளத்திற்கும் குறைவாகுமாறு

திரையை மிகத் தொலைவில் வைத்தால் எல்லா வரிகளுமே A'B'-க்கு வெளியே தெரிகின்றன. படம் 4-27-ன் அடிப்பாகத்தில் உள்ள வரை படத்தில், வரிகளின் பொலிவுப் பங்கீடு காணப்படுகிறது. மையத்-



படம் 4 - 27

மெல்லிய பிளவில் விளிம்பு விளைவும், பொலிவுப் பங்கீடும்

தில் பெருமப் பொலிவுடன் ஒரு பட்டை உள்ளது. இதன் இருமருங்கிலும் துணைப் பெருமங்களும் துணைச் சிறுமங்களுமான பொலிவுடன் வரிகள் உள்ளன. பெருமப் பொலிவுகள் சிறிது சிறிதாகக் குறைகின்றன.

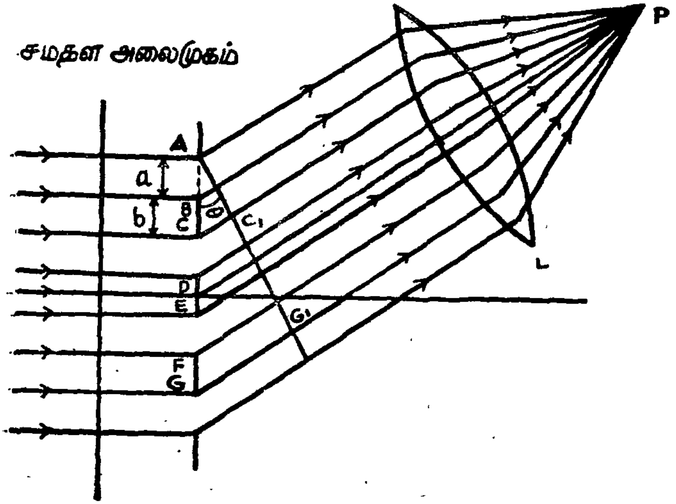
4. 4. 15. பல மெல்லிய பிளவுகளில் விளிம்பு விளைவு

பகுதி 4. 4. 14-ல் சொல்லப் பட்டது போன்ற பல மெல்லிய பிளவுகளிருப்பின் அவை ஒவ்வொன்றும் தன்னுடைய விளிம்பு விளைவுப் பாங்கத்தைத் திரையில் ஏற்படுத்தும். ஆனால் வெவ்வேறு பிளவுகளும் வளைத்து அனுப்புகின்ற அலைகளினிடையே குறுக்கீட்டு விளைவு ஏற்படும். எல்லாப் பிளவுகளும் ஏற்படுத்தும்

விளைவுகள் ஒன்றுக்கொன்று வலிவூட்டுகின்ற புள்ளிகளெல்லாவற்றிலும் திரைமீது பெருமங்கள் கிடைக்கும். பிளவுகளின் எண்ணிக்கை அதிகமானதால் பெறப்படுகின்ற பெருமங்கள் கூர்மையாகவும், அதிகப் பொலிவுடனும் உள்ளன.

சமதள விளிம்பு விளைவுக் கீற்றணி (Grating)

ஒளிபுகு பொருளாலான சமதளத்தகடு மீதில் வைர ஊசியால் மெல்லிய கோடுகள் வரையப் படுகின்றன. இககோடுகள் உள்ள பகுதிகள் ஒளிபுகாத்தன்மை பெற்றுவிடுகின்றன. தகட்டின் அகலத்தில் ஒரு சென்ட்டிமீட்டருக்கு சுமார் 6000 கோடுகள் இருக்கும். கோடுகளுக்கிடையே உள்ள பகுதிகள் வழியே ஒளி ஊடுருவும்; இப்பகுதிகள் மெல்லிய பிளவுகளாகச் செயல்படுகின்றன. கோடுகள் சம அகலமுடையவை; கோடுகளின் இடைத்தொலைவுகளும் அதாவது பிளவுகளின் அகலங்களும் சமமானவை. ஒரு கோடு மற்றும் ஒரு பிள



படம் 4 - 28

சமதளக் கீற்றணியில் விளிம்பு விளைவு

வின் மொத்த அகலம் கீற்றணி மூலம் (Grating Element) எனப்படும். அடுத்தடுத்த பிளவுகளில், கீற்றணி மூலத்திற்குச் சமமாக இடைத்தொலைவு உடைய புள்ளிகள் ஒத்த புள்ளிகள் என்றழைக்கப்படுகின்றன.

படம் 4-28 காண்க. படத்தின் தளத்திற்குக் குத்தாக உள்ள கீற்றணியின் குறுக்கு வெட்டுத் தோற்றம் ABCDEFG என்க.

AB, CD.... என்பன அகலம் a உடைய பிளவுகளைக் குறிக்கின்றன. BC, DE.... என்பன அகலம் b உடைய கோடுகளைக் குறிக்கின்றன. சமதள அலைமுகப் பரப்பு ஒன்று கீற்றணி மீது குத்தாக விழட்டும். ABCDEFG நெடுகிலும் உள்ள துகள்கள் குலைவுமையங்களாகச் (Centres of Disturbance) செயல்படுகின்றன: எனவே, இப்புள்ளிகளிலிருந்து அலைக்குட்டிகள் தோன்றி எல்லாத் திசைகளிலும் பரவுகின்றன. கோடுகளில் தோன்றும் அலைக்குட்டிகள் கீற்றணிக்கு வலது திசையில் பரவ இயலாது; ஏனெனில் கோடுகள் ஒளிபுகாத் தன்மையுடையன. ஆனால், பிளவுகளில் தோன்றும் அலைக்குட்டிகள் எல்லா முற்போக்குத் திசைகளிலும் பரவும்; எனவே ஒளி விளிம்பு விளைவுக்குட்படுகிறது.

கீற்றணி மீது ஒளி விழுந்த திசைக்கு கோணம் θ சாய்ந்திருக்கும் திசையில் பிளவுகளிலிருந்து வெளியேறும் அலைக்குட்டிகளைக் கவனிப்போம். விளிம்பு விளைவுக்குட்பட்ட பின்னர் ஒளியின் திசைக்குக் குத்தாக $AC_1\ G_1$ உள்ளது. எனவே அது அலைமுகப்பு ஆகும். ஒத்த புள்ளிகள் A மற்றும் C யிலிருந்து புறப்படும் அலைக்குட்டிகளைக் கருதுவோம். இவை அலைமுகப்பு $AC_1\ G_1$-ஐ அடையும் பொழுது இவற்றினிடையே பாதை வேறுபாடு

$$CC_1 = AC \sin \theta = (a+b) \sin \theta$$

ஆகும். $AC_1\ G_1$-க்கு அப்பால் அந்த அலைக் குட்டிகள் சமபாதைகளில் செல்கின்றன. விளிம்பு விளைவு ஏற்பட்ட பின் அலைமுகப்பின் பாதையில் ஒரு குவிலென்சை வைக்க. வெவ்வேறு பிளவுகளிலிருந்து புறப்பட்டு ஒரே திசையில் செல்லும் எல்லா அலைக் குட்டிகளும் ஒரே புள்ளி P-ல் குவியமாகின்றன. இந்த அலைக்குட்டிகள் P-ல் மேற்பொருந்துவதால் P-ல் குறுக்கீட்டு விளைவு ஏற்படுகிறது. அலைக் குட்டிகளிடையே பாதை வேறுபாடு,

$$(a+b) \sin \theta = n\lambda$$

எனில் P பொலிவுடன் தோன்றும். ஒற்றைநிற ஒளியைப் பயன்படுத்தும் பொழுது,

$$(a+b) \sin \theta = 0, \lambda, 2\lambda, 3\lambda \ldots$$

எனில் P பொலிவுடன் தோன்றும்;

$(a+b) \sin \theta = 0$ எனில், $\theta = 0$; அதாவது படுகதிரின் திசையில் உள்ள எல்லாப் புள்ளிகளும் பொலிவுடையன. இதுவே வரிசை எண் சுழியுடைய விளிம்பு விளைவுப் பிம்பம்.

$$(a+b) \sin \theta_1 = \lambda$$

எனில், படுகதிருக்கு θ_1 கோணம் சாய்ந்த திசையில் முதல் வரிசை எண் உடைய பொலிவான பிம்பம் கிடைக்கிறது. இதுபோலவே

$$(a+b) \sin \theta_2 = 2\lambda$$

என்றவாறு கோணம் θ_2-ல் இரண்டாவது வரிசை எண் உடைய பொலிவான பிம்பம் கிடைக்கிறது. படுகதிரின் இரு மருங்கிலும் முதல் மற்றும் இரண்டாவது வரிசை எண் உடைய பொலிவான பிம்பங்கள் கிடைக்கின்றன. கீற்றணிமீது வெள்ளொளி விழுவதாகக் கொள்வோம் : $\theta = 0$ எனும்பொழுது, $(a+b) \sin \theta = 0$ என்ற கூற்று வெள்ளொளியில் உள்ள எல்லா நிறங்களுக்கும் பொருந்தும். ஆகவே படுகதிரின் திசையில் எல்லா நிறங்களுக்குமான பொலிவான பிம்பங்கள் மீதுறுகின்றன. ஆகையால் நிறப்பிரிகை ஏற்படாமல் வெண்மையான பிம்பம் படுகதிரின் திசையில் கிடைக்கிறது.

θ சிறிது சிறிதாகக் கூடுவதாகக் கொள்வோம். அப்பொழுது $(a+b) \sin \theta$-ம் கூடிக்கொண்டே வரும். $(a+b) \sin \theta$-வின் மதிப்புகள் எல்லா நிறங்களுடையவுமான λ- மதிப்புகளுக்குச் சமமாகி, வரிசையாக ஊதா முதல் சிவப்பு வரையில் பொலிவான பிம்பங்கள் கிடைக்கின்றன; அதாவது நிறமாலையொன்று கிடைக்கிறது.

θ வெவ்வேறு மதிப்புகள் பெற, $(a+b) \sin \theta = m\lambda$ (m ஒரு முழு எண்) எனும்பொழுதில், பொதுவாக, பொலிவான பிம்பம் பெறப்படுகிறது. இந்த தொடர்பில் $m = 0$ என்றபொழுது, மையத்தில் கிடைக்கும்-பொலிவுப் பிம்பம் வெண்மையாக இருக்கும். எனவே கீற்றணி தருகின்ற நிறமாலைக்கான வாய்பாடு

$$(a+b) \sin \theta = m \lambda ; \quad (m = 1, 2, 3....)$$

என்று கூறுவர். கீற்றணியில் ஒரு சென்டிமீட்டர் அகலத்தில் N கோடுகள் இருக்குமாயின் $N = \frac{1}{a+b}$ ஆகும். எனவே மேற்சொன்ன வாய்பாடை,

$$\sin \theta = \frac{m\lambda}{a+b} = Nm\lambda. \quad (m = 1, 2, 3....)$$

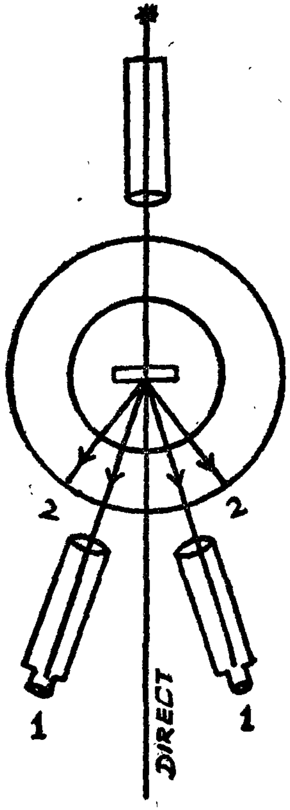
என்றுமெழுதலாம். இங்கு m-ஐ நிறமாலையின் எண் வரிசை என்றழைக்கிறோம்.

மேலே விவரிக்கப்பட்டதில், ஒளியானது கீற்றணியை ஊடுருவிச்செல்வதாகக் கூறப்பட்டது; எனவே இக்கீற்றணி (Transmission

Grating) எனப்படும். எதிரொளிப்புக் கீற்றணி என்பனவும் உண்டு. இவை சாதாரணமாக குழிவுத்தளங்களுடையன.

4 4. 16. சமதள ஊடுருவுக் கீற்றணியைப் பயன்படுத்தி ஒளியின் அலை நீளத்தை நிர்ணயித்தல்

ஒரு நிறமாலைமானியின் முன்னேற்பாட்டுச் சீரமைப்புகள் முதற் கண் செய்க. கீற்றணியை முப்பட்டக மேடைமீது அதற்குக் குத்தாகப் பொருத்துக. இணையாக்கியிலிருந்து வரும் ஒளிக்கதிர் கீற்றணியின் தளத்தின் மீது நேர்குத்தாக விழுமாறு கீற்றணியைச் சீரமைக்க. [படம் 4-29]



படம் 4-29
கீற்றணி-அலைநீளம் காணல்

எவ்வொளியின் அலை நீளம் தேவையோ அது இணையாக்கியிலுள்ள பிளவு மீது விழட்டும். இணையாக்கியின் அச்சுடன் பொருந்துமாறு தொலைநோக்கியை வைக்க. மிகப்பொலிவான மையப் பிம்பம் தொலைநோக்கியில் பெறப்படுகிறது. தற்பொழுது தொலைநோக்கியை ஒரு பக்கம் மெல்ல நகர்த்துக : முதல் எண் வரிசை (m—1) பிம்பத்தைத் தொலைநோக்கியில் கண்டு அது கண்வில்லையின் குறுக்குக் கம்பி மீது பதியுமாறு சீரமைக்க. இந்த நிலையில் தொலைநோக்கி தரும் அளவீட்டைக் குறித்துக் கொள்க. இது போன்றே மைய பிம்பத்தின் மறுபக்கத்திலும் முதல் எண் வரிசை பிம்பததைக்கண்டு, அதற்கான அளவீட்டைக் குறிக்க. இரண்டு அளவீடுகளுக்குமுள்ள வேறுபாட்டில் பாதியைக் கணக்கிடுக. இதுவே முதல் வரிசைக்கான விளிம்பு விளைவுக் கோணம் θ ஆகும். பின்னர்

$$\sin\theta = Nm\lambda$$

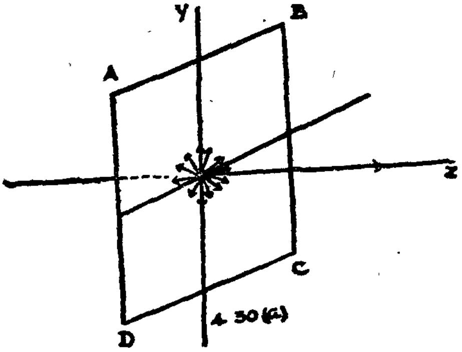
என்பதில் பதிலீடு செய்து λ கணக்கிடலாம். கீற்றணித் தயாரிப்பாளர் தந்துள்ள N-மதிப்பை இக்கணக்கீட்டில் பயன்படுத்தலாம்.

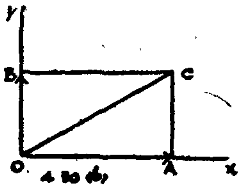
4.5. ஒளியின் தளவிளைவு

4. 5. 1. ஒளியின் தளவிளைவு (Polarisation of Light)

ஒளி அலையியக்கத்தால் பரவுகிறது எனக் குறுக்கீட்டு விளைவும், விளிம்பு விளைவும் சான்று பகர்கின்றன. எந்த ஊடகத்திலும் பரவும் அலைகள் இரு வகையானவை: (1) நெட்டலைகள், (2) குறுக்கலைகள். நெட்டலைகள் பரவும்பொழுது ஊடகத்தின் துகள்கள் அலையின் திசைக்கு இணையாக அதிர்வுறுகின்றன: குறுக்கலைகள் பரவும்பொழுது ஊடகத்தின் துகள்கள் அலையின் திசைக்கு நேர்குத்தாக அதிர்வுறுகின்றன.

ஒளி அலைகள் நெட்டலைகளா? குறுக்கலைகளா? ஒளி அலைகள் குறுக்கலைகள்தான் என்று ஒளியின் தளவிளைவு என்னும் நிகழ்வு தெளிவாக்குகின்றது. எந்த மூலத்திலிருந்து ஒளி பெறப்பட்டாலும் அவ்வொளி அலைகளில் அலை செல்லும் திசைக்குக் குத்தான எல்லாத் திசைகளிலும் அதிர்வுகள் நிகழ்கின்றன. படம் 4-30 (a)-ல், Z - திசையில் செல்லும் ஒளிக்





படம் 4-30

ஒளி அலைகளின் குறுக்கதிர்வுகள்

கதிருக்குக் குத்தாக உள்ள ABCD என்ற தளத்தில் மேற்சொன்னவாறு அதிர்வுகள் நிகழ்வது காட்டப்பட்டுள்ளது. O என்ற புள்ளியில் வரையப்பட்ட அம்புக்குறிகள் சாத்தியமான எல்லாத் திசைகளிலும் நிகழும் அதிர்வுகளைக் குறிக்கின்றன. எல்லா அதிர்வுகளின் வீச்சுகளையும் தொகுத்து இரண்டு தொகுபயன் அதிர்வுகளாகக் கருதலாம். இந்த இரண்டு தொகுபயன்களில் ஒன்று X-திசையிலும் மற்றது Y-திசையிலுமாகக் காணப்படுகின்றன (படம் 4-30 b).

இரண்டிலொன்றை, தருந்த சாதனத்தைப் பயன்படுத்தி, முற்றிலுமாக நீக்கிவிட்டால் ஒரேயொரு தளத்தில் மட்டுமே அதிர்வுகளுடைய ஒளியைப் பெறலாம். ஒரேயொரு தளத்தில் மட்டுமே அதிர்வுகளுடைய ஒளியை **ஒருதள விளைவுற்ற** ஒளி என்றழைக்கிறோம். ஒளி ஆற்றலைக் கடத்துகின்ற துகள்களின் அதிர்வுகள் ஒரேயொரு தளத்தில் நிகழ்வதையே ஒளியின் **தளவிளைவு** என்கிறோம்.

தளவிளைவுத் தளம் (Plane of Polarisation)

துகள்கள் அதிர்வுறுகின்ற தளத்தை அதிர்வுத்தளம் (Plane of Vibration) என்றழைக்கிறோம். அதிர்வுத் தளத்திற்குக் குத்தான தளத்தை **தளவிளைவுத்தளம்** என்றழைக்கிறோம்.

பகுதித் தளவிளைவு பெற்ற ஒளி

துகள்களின் அதிர்வுகள் முற்றிலுமாக ஒரே தளத்தில் அமையாமலிருக்கலாம். அதிர்வு தளத்தைத்தவிர வேறு தளங்களில் சிறிதளவிற்கு அதிர்வுகள் இருக்கலாம். இந்த அதிர்வுகளின் வீச்சு குறைவாகவே இருக்கும். (அதிர்வுத்தளத்தில் உள்ளதைவிடக் குறைவாகவே இருக்கும்). இப்படி அமைந்த ஒளி முற்றிலும் தளவிளைவு பெறவில்லை. இதனைப் பகுதித்தள விளைவு பெற்ற ஒளி என்றழைக்கிறோம்.

தளவிளைவாக்கி மற்றும் பகுப்பான் (Polariser and Analyser)

ஒரு தள விளைவுற்ற ஒளியைத் தருகின்ற சாதனத்தைத் **தளவிளைவாக்கி** என்கிறோம். ஒளியானது தளவிளைவுற்றுள்ளதா அல்லவா எனச் சோதிக்கும் சாதனத்தைப் **பகுப்பான்** என்றழைக்கிறோம்.

டூர்மலைன் (Tourmaline) படிகம் அல்லது **நைகல்** (Nicol) பட்டகம் தளவிளைவாக்கியாகச் செயல்படவல்லது. தளவிளைவாக்கியே பகுப்பானாகவும், பகுப்பான் தளவிளைவாக்கியாகவும் செயல்பட இயலும்.

ஒருதள விளைவுற்ற ஒளியைப் பகுப்பான் வழியே செலுத்துக; வெளியேறும் ஒளிக்கதிரை அச்சாகக் கொண்டு பகுப்பானைச் சுழற்றுக; அப்பொழுது ஒளியின் செறிவு பெருமத்திற்கும் சுழிக்குமாக மாறிமாறி இருக்கும். பெருமச் செறிவு கிடைத்தபின் 90° சுழற்றினால் சுழிச் செறிவு கிடைக்கும்; மேலும் 90° சுழற்றினால் மீண்டும் பெருமச் செறிவு கிடைக்கும். இதுவே ஒருதளவிளைவுற்ற ஒளியை இனம் காணும் முறை.

மேலே சொன்ன முறையில் பகுதித் தளவிளைவு பெற்ற ஒளியை ஆராய்ந்தால் ஒவ்வொரு 90° சுழற்சிக்குச் செறிவுகள் பெருமமாகவும் சிறுமமாகவும் மாறி மாறிக் கிடைக்கின்றன; ஆனால் சிறுமம் சுழியாகாது.

டூர்மலைன் படிகமும், நைகல் பட்டகமும் தளவிளைவாக்கியாகவோ அல்லது பகுப்பானாகவோ செயல்படக் காரணம் அவற்றில் ஏற்படும் இரட்டை விலகல் (double refraction) ஆகும். இரட்டை விலகல் பின்னால் ஒரு பகுதியில் விளக்கப்படும்.

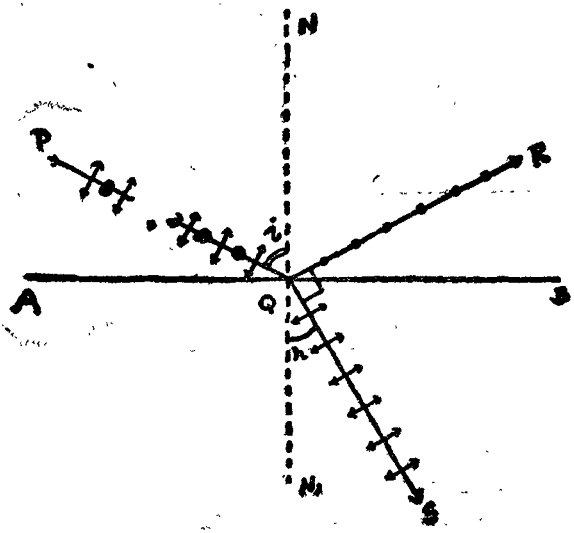
4. 5. 2 எதிரொளிப்பினால் ஏற்படும் தளவிளைவு

கண்ணாடிப் பலகையின் வழுவழுப்பான தளம் மீது எந்தக் கோணத்திலாவது படுகின்ற ஒளிக் கற்றையைக் கவனிக்க. இந்தக் கற்றை சாதாரண ஒளி ஆகும். இது தளவிளைவு பெறாதது. இக் கற்றையின் ஒரு பகுதி எதிரொளிக்கப்பட்டு, மிகுதி கண்ணாடிப் பலகையை ஊடுருவுகிறது. எதிரொளிக்கப்பட்ட கற்றையை நைகல் பட்டகம் கொண்டு சோதித்தால் அக்கற்றை பகுதித் தளவிளைவு பெற்றுள்ளதாகத் தெரிகிறது. படுகோணத்தைச் சார்ந்து தளவிளைவுத் தகவு (degree of polarisation) மாறுகிறது எனவும் அறிகிறோம். கண்ணடிமீது சுமார் 57° படுகோணத்தில் விழுந்து எதிரொளிக்கப்பட்ட கற்றை முற்றிலுமாகத் தளவிளைவு பெற்றிருக்கும். எதிரொளிக்கப்படுகின்ற கற்றை முற்றிலுமாகத் தளவிளைவு பெறுமாறு உள்ள படுகோணத்தைத் தளவிளை கோணம் (polarising angle) என்கிறோம். தளவிளைகோணம் ஊடகத்திற்கு ஊடகம் மாறுபடும்.

படம் 4-31ல் PQ என்பது படுகதிர். இக்கதிர் தளவிளைவு பெறாதது. படத்தின் தளத்திற்கு இணையாக PQ-ல் உள்ள அதிர்வுகள் இருமுனை அம்புக்குறிகளாகக் காட்டப்பட்டுள்ளன. படத்தின் தளத்திற்கு நேர் குத்தாக PQ-ல் உள்ள அதிர்வுகள் புள்ளிகளால் காட்டப்பட்டுள்ளன. இரண்டாவதாகச் சொல்லப்பட்ட அதிர்வுகள் எதிரொளிக்கும் தளத்திற்கு இணையாக உள்ளன. எனவே இவை எளிதில் எதிரொளிக்கப்படும்.

ஒரு சிறு குச்சியை, அதன் நீளத்தைக் கிடக்கையாக வைத்து, குளத்தில் உள்ள நீர்ப்பரப்பு மீது வீசினால் அது எளிதில் நீர்ப்பரப்பினால் பிரதிபலிக்கப்பட்டுக் குதித்தெழும். ஆனால் அதையே, அதன் நீளத்தை செங்குத்தாக வைத்து வீசினால், எளிதில் பிரதிபலிக்கப்படுவதில்லை; நீரினுள் பாய்ந்து மூழ்கிவிடும்.

மேற்சொன்னது போல AB-தளத்துக்கு இணையாக உள்ள அதிர்வுகள் எளிதில் எதிரொளிக்கப்படுகின்றன. ஆகையால் இந்த அதிர்வுகள் எதிரொளிக்கப்பட்ட கற்றையில் கணிசமாக உள்ளன. பிற அதிர்வுகள் ஊடகத்தினுள் கடக்கின்றன. கடத்தப்படுகின்ற



படம் 4-31

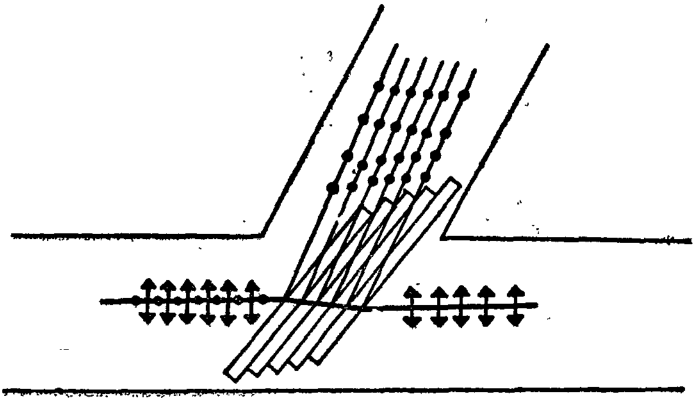
எதிரொளிப்பினால் ஏற்படும் தளவிளைவு

பகுதியும், படுகோணமானது தளவிளைவுக் கோணத்திற்குச் சமமாகும் பொழுது தளவிளைவு பெறுகிறது.

எதிரொளிப்பினால் ஏற்படும் தளவிளைவைப் பயன்படுத்தி, தட்டடுக்கு (Pile of Plates) அமைக்கப்படுகின்றது. தட்டடுக்கு தளவிளைவு ஒளியைத் தருகிறது. இதுவே பகுப்பானாகவும் செயல்படும்.

தட்டடுக்கில் (படம் 4-32) பல கண்ணாடித் தட்டுகள் (நுண்ணோக்கி—ஸ்லைடுகள் ஏழு அல்லது எட்டு) இணையாக ஒன்றன் மீதொன்று பொருந்துகின்றன. இவை ஒரு குழாயினுள், குழாயின் அச்சுக்கு 32·5° கோணம் சாய்ந்துள்ளன. குழாயின் அச்சுக்கு இணையாக ஒற்றை நிற ஒளிக்கதிர்கள் சென்று தட்டுகளின் மீது விழும்பொழுது படுகோணம் 57·5° ஆகிறது. இதுவே கண்ணாடியின்

தளவிளைவுக் கோணம் ஆகும். ஆதலால் எதிரொளிக்கப்பட்ட கற்றையானது முற்றிலும் தளவிளைவு பெற்றுள்ளது. எனவே தட்டடுக்கைப் பயன்படுத்தி தளவிளைவு ஒளிபெறலாம்.



படம் 4-32
தட்டடுக்கு

4.5.3 இரட்டை விலகல்

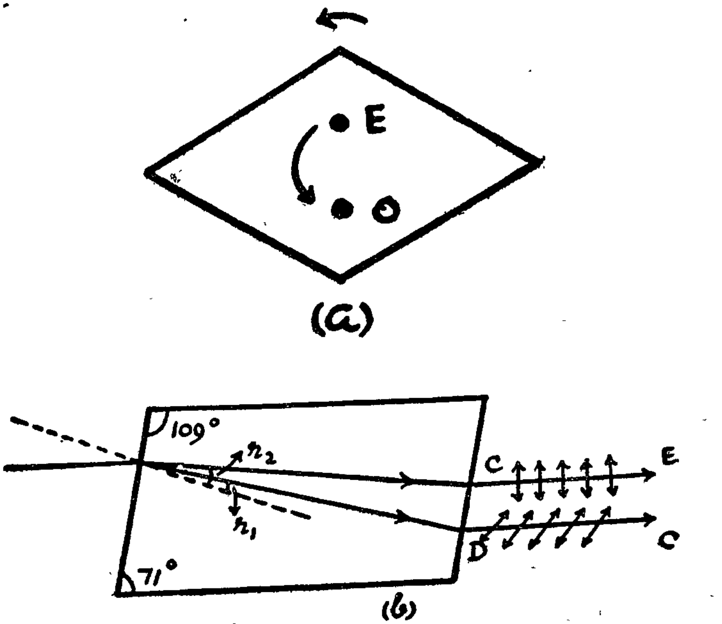
வெள்ளைத்தாளின் மீதுள்ள ஒரு மைப்புள்ளியை (அல்லது பொலிவான ஒரு ஊசித்துளையை) கால்சைட் அல்லது குவார்ட்சு படிகம் வழியாகப் பார்த்தால் இரண்டு பிம்பங்கள் தெரியும்.

தாளைத் தொட்டபடியே படிகத்தைச் சுழற்றினால் ஒரு பிம்பம் நிலையாக இருக்கும்; மற்ற பிம்பமானது நிலையான பிம்பத்தைச் சுற்றிவரும். [படம் 4-33a]

நிலையாக இருக்கும் பிம்பம் சாதாரணபிம்பம் எனப்படும். மற்ற பிம்பம் அசாதாரண பிம்பம் எனப்படும். சாதாரண பிம்பத்தைத் தோற்றுவிக்கும் கதிர்கள் நாம் முன்பே அறிந்த ஒளிவிலகல் விதிகளுக் குட்படுகின்றன ; எனவே அவை சாதாரண கதிர்கள் எனப்பட்டன. அசாதாரண பிம்பத்தைத் தோற்றுவிக்கும் கதிர்கள் ஒளிவிலகல் விதி களுக்குட்படவில்லை ; எனவே அவை அசாதாரணக் கதிர்கள் எனப் பட்டன.

சாதாரணக் கதிருக்கு, படுகோணம் எதுவாயினும் படுகோணத் தின் சைனுக்கும் விலகு கோணத்தின் சைனுக்கும் உள்ள விகிதம் மாறிலியாகும். ஆனால், அசாதாரண கதிருக்கு இந்த விகிதம் படுகோணத்தைச் சார்ந்து மாறுகிறது. கால்சைட் படிகம் வழியாக

சோடியம் ஒளி செல்லும் பொழுது, சாதாரண கதிருக்கொத்த ஒளி விலகல் எண் 1·658 ஆகும்; அசாதாரண கதிருக்கேற்ற ஒளிவிலகல்



படம் 4-33
கால்சைட் படிகத்தில் இரட்டை விலகல்

எண் 1·486 முதல் 1·658 வரை மாறுகிறது. ஆகையால் கால்சைட்டினுள் சாதாரண கதிர் எல்லாத் திசைகளிலும் சமதிசை வேகத்துடன் பாய்கிறது என்பதும், அசாதாரண கதிரோ வெவ்வேறு திசைகளில் வெவ்வேறு திசைவேகத்துடன் பாய்கிறது என்பதும் அறியப்படுகின்றன.

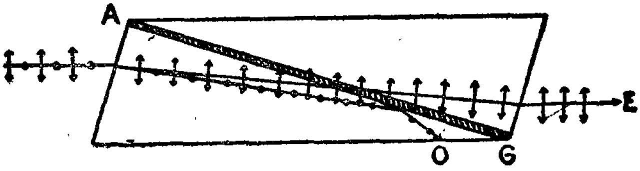
படிகத்தினுள் சாதாரண, அசாதாரண கதிர்கள் இரண்டும் சம திசை வேகத்துடன் செல்கின்ற ஒரு திசை உண்டு. இத்திசையை படிகத்தின் ஒளியியல் அச்சு (Optic Axis) என அழைக்கின்றனர். இத்திசையில் இருவகைக் கதிர்களுக்குமான ஒளிவிலகல் எண்கள் சமமாகும். எனவே ஒளியியல் அச்சின் திசையில் இரட்டை விலகல் இல்லை. படிகம் வழியாக இத்திசையில் ஒரு பொருளை நோக்கினால் ஒரேயொரு பிம்பம் மட்டுமே தெரியும். குவார்ட்ஸ், கால்சைட் என்பனவற்றில் ஒரேயொரு ஒளியியல் அச்சுதான் உண்டு. இப்படிகங்களை ஓரச்சுப் படிகங்கள் (Uniaxial Crystals) என்பர். பல

படிகங்களில் இரண்டு ஒளியியல் அச்சுகள் உண்டு; இவற்றை ஈரச்சுப் படிகங்கள் (Biaxial Crystals) என்பர்.

இரட்டை விலகலால் பெறப்படும் சாதாரண, அசாதாரணக் கதிர்களை, பகுப்பானால் சோதித்தால், அவை ஒன்றுக்கொன்று குத்தான தளங்களில் ஒருதள விளைவு பெற்றிருக்கின்றன என்பது அறியப்படுகிறது.

4.5.4. தளவிளைவாக்கி மற்றும் பகுப்பான்

டூர்மலைன் படிகம் ஈரச்சுப் படிகமாகும்; இதனில் இரட்டை விலகல் நிகழ்கிறது. இப்படிகத்தின் தடிப்பு 1 மிமீ-க்கு அதிகமானால் அது சாதாரண கதிரை முற்றிலுமாகக் கவர்ந்துகொண்டு அசாதாரண கதிரை மட்டுமே ஊடுருவ விடுகிறது. அசாதாரணக்கதிர் ஒருதள விளைவு பெற்றதல்லவா? எனவே டூர்மலைன் படிகம் தளவிளை வாக்கியாக செயல்படுகிறது. இதே காரணத்தால் அதுவே பகுப்பா னாகவும் செயல்படுகிறது. ஆனால் இதற்கொரு குறை உண்டு. இதன் வழியாகப் பாய்வதால் ஒளி சிறிது நிறம் மாறும்.



4-34
நைகல் பட்டக அமைப்பு

கால்சைட் படிகத்திலிருந்து செய்யப்பட்டது நைகல் பட்டகம். அகலத்தைப்போல் மூன்று மடங்கு நீளமுடைய கால்சைட் படிகம் தகுந்தவாறு வெட்டப்பட்டு மீண்டும் (கனடா பால்சம் சிமிட்டியினால்) ஒட்டப்படுகிறது. நைகல்மீது அதன் நீளத்திற்கு இணையான திசையில் வந்து விழுகின்ற ஒளி இரட்டை விலகல் பெறுகிறது. ஆனால் சாதாரணக் கதிரானது சிமிட்டியின் தளத்தில் முழுஅக எதிரொளிப்பு பெற்று, படிகத்தின் விலாப்பக்கம் திரும்பி விடுகிறது. எனவே அசாதாரண கதிர்மட்டும் பட்டகத்தை ஊடுருவிச் செல்கிறது. (படம் 4-34) அசாதாரண கதிர் ஒரு தளவிளைவு பெற்றது என்பதால், நைகல் பட்டகம் தளவிளைவாக்கியாகச் செயல் படுகிறது. இதே காரணத்தால் அது பகுப்பானாகவும் செயல்படுகிறது.

4.5.5. போலராய்டு (Polaroid)

ஒளியில் ஒருதளவிளைவை உண்டாக்குகின்ற எளிமையான சாதனம் போலராய்டு ஆகும். போலராய்டு வழியாகச் சாதாரண ஒளி பரவும்பொழுது, வெளியேறும் ஒளிக்கற்றையானது ஒரு தளவிளைவு பெற்றிருக்கிறது. போலராய்டுகளில் பல வகைகள் உள்ளன.

குவினைன் அயடோசல்பேட் படிகம் 'ஹெரபதைட்' என்றும் அழைக்கப்படும்; இது இரட்டை விலகல் தரும். இதன்மிக நுண்ணிய படிகம்கூட சாதாரணக் கதிரை முற்றிலும் கவர்ந்துகொண்டு அசாதாரண கதிரை மட்டும் அனுமதிக்கும். தனியான ஒருஹெரபதைட் படிகத்தைப் பெரிய உருவமுடையதாகப் பெற இயலாது. ஆனால், நுண்ணிய பல ஹெரபதைட் படிகங்களை அவற்றின் ஒளியியல் அச்சுகள் இணையாக இருக்குமாறு அமைக்கலாம். இவ்வாறு அமைந்த ஹெரபதைட் மெல்லேடு ஒன்றைப் பெறலாம். பலபடிகங்களை நைட்ரோசெல்லுலோசில் கலந்து பசையாக்கி இப்பசையை மெல்லிய பிளவு வழியாக அழுத்திப் பாய்ச்ச மெல்லேடு கிடைக்கும். இந்த மெல்லேடு ஒளிக்கு முற்றிலும் ஒருதள விளைவு தரும். இது ஒரு வகை போலராய்டு.

மற்றொருவகைப் போலராய்டு H-போலராய்டு என்பதாகும். பாலி வினைல் ஆல்கஹாலில் அயடின் பொதிந்த மெல்லேடு பெறப் படுகிறது. இந்த ஏட்டினை எல்லாத் திசைகளிலும் நீட்டித்தால் மூலக்கூறுகள் இணைத்திசைகளில் அமைகின்றன. இந்த ஏடு நிறமற்றது; இது அதிகமான ஒளியைக்கடத்துகிறது; அத்துடன் சிறந்த வகையில் தளவிளைவையும் தருகிறது.

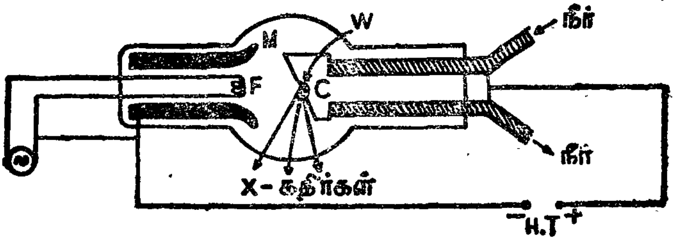
தளவிளைவு ஏற்படுத்தவும், பகுப்பாய்வு செய்யவும் போலராய்டுகள் பயன்படுகின்றன. கண்கூசுவதைத் தவிர்க்க நாம் அணியும் கண்ணாடிகளாகவும், மோட்டார்காரின் விளக்குகளிலும் பயன்படுகின்றன. 'ஸ்டீரியோஸ்கோப்' எனப்படும் திரைப்படங்களில் முப்பரிமாணத் தோற்றத்தை அளிக்கப் பயன்படுகின்றன. ஆகாயத்திலிருந்து வெவ்வேறு கோணங்களில் ஒளிப்படமெடுத்து அவற்றை போலராய்டு வழியாகப் பார்த்தால் முப்பரிமாணத் தோற்றம் கிடைக்கும்.

4.6. எக்ஸ் கதிர்கள்

1896-ல் ராண்ட்ஜன் எக்ஸ் கதிர் (X-rays)களைக் கண்டுபிடித்தார். அதற்குப் பின்னர், எக்ஸ்கதிர்களின் பண்புகள் பலரால் ஆராயப்பட்டன. இந்த ஆராய்ச்சிகளின் முடிவாவது: **மிக விரைந்து செல்லும் எலக்ட்ரான்கள் திடீரென்று ஒரு இலக்கினால் தடுத்து நிறுத்தப்பட்டால் எக்ஸ் கதிர்கள் தோன்றுகின்றன.**

4.6.1. எக்ஸ் கதிர்களைத் தோற்றுவித்தல்—கூலிட்ஜ் குழாய்

தற்காலத்தில் எக்ஸ்கதிர்களை உண்டாக்கக் கூலிட்ஜ் குழாயே பெரும்பாலும் பயன்படுகிறது. படம் 4-35 காண்க. ஒரு கண்ணாடிக் குடுவையினுள் 10^{-5} செமீ. என்ற அளவுக்கு வெற்றிடமாக்கப்பட்டுள்ளது. இக்குடுவையினுள் டங்ஸ்டன் மின்னிழை F உள்ளது;



படம் 4-35
கூலிட்ஜ் குழாய்

இதனில் குறைமின்னழுத்த மாறுமின்னோட்டம் பாய்ந்து சூடாக்குகிறது. சூடேறிய மின்னிழை (வெப்ப அயனி உமிழ்வால்) எலக்ட்ரான்களை உமிழ்கிறது. மின்னிழை F-ஐச் சுற்றி மாலிப்டினம் குழாய் M உள்ளது. உயர்வான எதிர் மின்னழுத்தம் M-க்கு அளிக்கப்படுவதால் அது எலக்ட்ரான்களை அடர்ந்த மெல்லிய கற்றையாக்குகிறது. மின்னிழைக் கேதோடுக்கும், காப்பர் ஆனோடுக்கு (C) மிடையில் மீஉயர் மின்னழுத்தம் (சுமார் 100,000 வோல்ட்கள்) செலுத்தப்படுகின்றது. இதன் செயலால் எலக்ட்ரான்கள் மிகுதியாக முடுக்கப் பெறுகின்றன; எனவே மிக அதிகமான வேகத்தில் ஆனோடு மீது மோதுகின்றன. எலக்ட்ரான்களின் மிகுவேக மோதலால் பல உலோகங்கள் உருகிவிடக் கூடும்; இதைத் தவிர்க்க உயர்ந்த உருகுநிலை உடைய உலோகம் (எடுத்துக்காட்டாக டங்ஸ்

உடன்) ஆனோடில் பொதியப்பட்டுள்ளது. ஆனோடு காப்பரால் ஆனது. காப்பர் நல்ல வெப்பங்கடத்தியாதலால், அது வெப்பத்தை வெளியே கடத்துகிறது; அத்துடன் ஆனோடைச் சுற்றிப் பாய்கின்ற நீர் அதனைக் குளிர்விக்கிறது.

குழாயின் அச்சுக்குச் சாய்வாக இலக்கின் தளம் உள்ளது. எனவே எக்ஸ் கதிர்கள் குழாயின் விலாப்பக்கமாக வெளியேறு கின்றன.

கூலிட்ஜ் குழாய் தருகின்ற எக்ஸ்கதிர்களின் செறிவையும் தரத் தையும் எளிதில் கட்டுப்படுத்தலாம். கேதோடுக்கும், ஆனோடுக்கும் இடையே செலுத்தப்படும் மின்னழுத்தத்தைச் சார்ந்து எக்ஸகதிர் களின் தரம் அமைகிறது. மீ உயர்வான மின்னழுத்தத்தைச் செலுத்தி வன் எக்ஸ் கதிர் (Hard X-rays)களைப் பெறலாம். வன் எக்ஸ்கதிர் களின் ஊடுருவுதிறன் மிக அதிகம். சாதாரண உயர் மின்னழுத்தத் தைச் செலுத்தி மென் எக்ஸ் கதிர் (Soft X-rays)களைப் பெறலாம். மென் எக்ஸ் கதிர்கள் நடுத்தரமான ஊடுருவுதிறன் உடையன.

ஆனோடு மீது மோதும் எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கையை உயர்த்தினால் எக்ஸ்கதிர்களின் செறிவையும் உயர்த்தலாம். இதை மிக எளிதாகச் செய்யலாம்; இதற்கு மின்னிழையைச் சூடேற்றும் மின்னோட்டத்தைக் கூட்டினால் போதுமானது.

4.6.2. எக்ஸ் கதிர்களின் பண்புகள்

1. எக்ஸ் கதிர்கள் நேர்கோட்டுப் பாதையில் செல்கின்றன. அவற் றால் ஊடுருவ இயலாத பொருட்களின் நிழல்களைத் தோற்று விக்கின்றன.
2. எக்ஸ் கதிர்கள் விழுவதால் பொருட்கள் சூடேறுவதில்லை.
3. எக்ஸ் கதிர்கள் ஒளியின் திசைவேகத்துடன் பாய்கின்றன.
4. மின்புலமோ, காந்தப்புலமோ எக்ஸ்கதிர்களை பாதை விலக்குவ தில்லை. ஆகவே எக்ஸ் கதிர்கள் மின்னூட்டம் அற்றவை.
5. அவை ஒளிர்தலை உண்டாக்குகின்றன; ஒளிப்படத்தகடு களைப் பாதிக்கின்றன.
6. சாதாரண தளங்கள் எக்ஸ் கதிர்களைப் பிரதிபலிக்கவோ அல் லது விலக்கவோ இயலாது; ஆனால் படிகங்கள் இவற்றை சிதறச்செய்கின்றன. இதற்குக் காரணம் இவற்றின் மிச்சிறு அலை நீளமே.

7. எக்ஸ் கதிர்களின் ஊடுருவுதிறன் மிக அதிகம். சாதாரண ஒளியால் ஊடுருவ இயலாத பல பொருள்களை எக்ஸ் கதிர்கள் ஊடுருவுகின்றன காகித அட்டை, தோல் மற்றும் இலேசான உலோகங்களை (எடுத்துக் காட்டாக அலுமினியம்) எக்ஸ் கதிர்கள் ஊடுருவுகின்றன. ஆனால் அவற்றால் காரீயத்தை ஊடுருவ இயலாது. மனித எலும்புகளை அவை ஊடுருவா; ஆனால் தசைகளை ஊடுருவும். பொருளின் அடர்த்தி அதிகரிக்கும்பொழுது எக்ஸ்கதிர்களின் ஊடுருவு திறன் குறைகிறது.

8. எக்ஸ் கதிர்கள் வாயுக்களை அயனியாக்கம் செய்கின்றன.

9. மேற்சொன்ன பண்புகள் காரணமாக, எக்ஸ் கதிர்களும் ஒளியைப் போலவே ஒரு வகை மின்காந்தக் கதிர்வீச்சுகள்தான் என்று முடிவு பெறப்பட்டுள்ளது. எக்ஸ் கதிர்களின் அலைநீளங்கள் மீச்சிறியவை; 10^{-9} மீ. முதல் 10^{-11} மீ வரையுள்ளன. எனவே அவை கட்புலனாவதில்லை. அவை மீஉயர் அதிர்வெண்களுடையன; அதற்கேற்ப அவற்றின் ஆற்றலும் மீஉயர்வாக உள்ளது.

4.6.3. எக்ஸ் கதிர் விளிம்பு விளைவு—படிகக் கீற்றணி

எக்ஸ் கதிர்களின் பண்புகளிலிருந்து அவையும் ஒளி அலைகள் போலவே அலையியக்கத்தால் பரவலாம் என்று ஊகித்தனர், அலையியக்கத்தினுடைய ஒரு முக்கிய பண்பு **விளிம்பு விளைவு** ஆகும். ஆகையால் எக்ஸ்கதிர்கள் விளிம்பு விளைவு பெறுகின்றனவா என ஆராய முற்பட்டனர்.

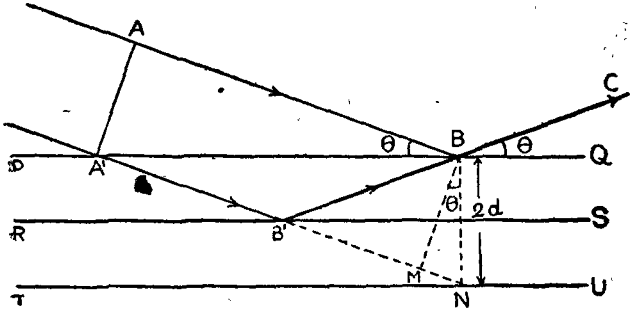
தொடக்க நாட்களில் செய்யப்பட்ட சில சோதனைகள் எக்ஸ்கதிர்களின் அலைநீலங்கள் 0·1nm என்ற அளவில் இருக்கலாம் என சுட்டிக் காட்டின. விளிம்பு விளைவை எளிதில் காணவேண்டுமாயின் தடையின் அளவுகள் அலைநீளத்துடன் ஒப்பிடத் தகுந்தனவாயிருத்தல் வேண்டுமல்லவா ? எனவே எக்ஸ் கதிர்களின் விளிம்பு விளைவைக் காண கீற்றணியின் கோடுகளிடையேயான தொலைவு ஒரு சில நேனோ மீட்டர்களே இருக்கவேண்டும். நடைமுறையில் இவ்வாறு கோடுகளிடுதல் இயலாது. லாவே (Laue) என்ற அறிஞர் ஒரு ஆலோசனை கூறினார். படிகங்களில் உள்ள அணுக்கள் (அல்லது மூலக்கூறுகள் அல்லது அயனிகள்) ஒழுங்குடன் அமைந்துள்ளன ; இவை அமைந்துள்ள தளங்கள் **அணிக்கோவைத் தளங்கள்** (Lattice Planes) அல்லது **பிளவுறு தளங்கள்** (Cleavage Planes) எனப்படுகின்றன. இந்த தளங்கள் எக்ஸ்கதிர்களை விளிம்பு விளைவுக்குட்

படுத்த வல்லனவாக இருக்கலாம். இவ்வாறு படிகங்களில் அணுக்கள் அமைந்துள்ள பிளவுறு தளங்களில் இடைத்தொலைவு தகுந்த வொரு கீற்றணி மூலமாகப் (grating element) பயன்படலாம் என்பதே லாவே (Laue)யின் ஆலோசனையாகும். ஒளியியல் கீற்றணியானது இரு பரிமாணமுடையது; ஆனால் படிகமோ முப்பரிமாணக் கீற்றணியாகச் செயல்படலாம்.

W.L. பிராக் (W.L. Bragg)-ம் W.H. பிராக் (W.H. Bragg)-ம் இந்துப்பு (rock salt)ப் படிகத்தைப் பயன்படுத்தி எக்ஸ் கதிர்களின் விளிம்பு விளைவை ஆராய்ந்தனர். அவற்றின் அலைநீளத்தை அளப்பதில் வெற்றி பெற்றனர். அவர்கள் செய்த சோதனையின் கொள்கை விளக்கம் பின்வருமாறு கூறப்படும்:

4.6.4 பிராக் விதி (Bragg's Law)

படிகத்தின் இயற்கையான தளம்மீது கோணம் θ-வில் ஒரு படித்தான எக்ஸ்கதிர்கள் விழுகின்றன. (படம் 4-36) இக்கோணம் **தொடு கோணம்** எனப்படும். தொடுகோணத்தின் குறிப்பிட்ட சில மதிப்புகளுக்கு, மிகச்செறிவான கதிர்க்கற்றை படிகத்தின் தளத்திலிருந்து மீள்கிறது. மீள்கற்றையும் படிகத்தின் தளத்திற்கு கோணம் θ சாய்வாக உள்ளது.



படம் 4-36
பிராக் விதி

அதாவது, குறிப்பிட்ட சில படுகோணங்களில் மட்டுமே படிகத்தின் தளத்திலிருந்து 'எதிரொளிப்பு' நிகழ்வதாகக் கருதலாம்.

பிளவுறு தளங்களில் உள்ள அணுக்கள் கதிர்களைப் பலதிசைகளிலும் சிதறச் செய்கின்றன. ஆனால் குறிப்பிட்ட படுகோணம்

உள்ளபொழுது, சிதறிய எல்லாக்கதிர்களும் சமகட்டத்தில் உள்ளன.

படம் 4-36ல் PQ, RS, TU என்பன இணையான மூன்று பிளவுறு தளங்களைக் குறிக்கின்றன. இவற்றினிடைத்தொலைவு d ஆகும். AB மற்றும் A'B' என்பன இணையான இரண்டு எக்ஸ் கதிர்கள். இவை தொடுகோணம் θ-ல் விழுகின்றன. (A'B'+B'B—AB) என்ற பாதை வேறுபாடு அலைநீளத்தின் முழு மடங்குகளானால் PQ, RS என்ற தளங்களில் பட்டுச் சிதறிய கதிர்கள் BC என்ற திசையில் ஒன்றுக்கொன்று வலிவூட்டும்; அதுபோலவே, இணையான மற்ற பிளவுறு தளங்களில் சிதறும் கதிர்களும் வலிமைபெறும். A'B' ஆனது TU-ஐ N-ல் சந்திக்கட்டும். எல்லா தளங்களுக்கும் குத்தாக BN உள்ளது. அத்துடன்,

$$B'B = B'N.$$

B'N-க்குக் குத்தாக BM-ஐ வரைக. எனவே,

AB = A'M என்பது தெளிவு.

ஆகையால் பாதைவேறுபாடு $A'N - A'M = MN = BN \sin\theta$.

$= 2d \sin\theta$ ஆகிறது.

ஒரு படித்தான எக்ஸ்கதிர்களின் அலைநீளம் λ எனில் வலிவூட்டுவதற்கான நிபந்தனை

$$n\lambda = 2d \sin\theta$$

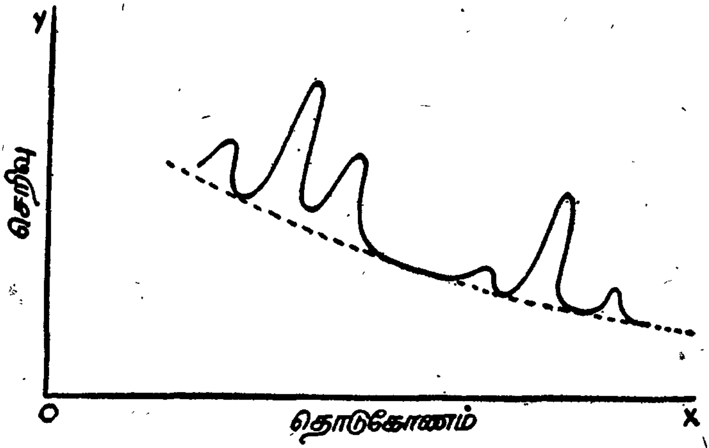
எனப்பெறப்படுகிறது. $n = 1$ எனில் $\lambda = 2d \sin\theta$; $n = 2$ எனில் $2 = 2d \sin\theta$, இதுபோல் பிறவும். ஆகவே படிகமும் சாதாரணக் கீற்றணி போலச் செயல்பட்டு, வெவ்வேறு வரிசை எண் உடைய பல நிறமாலைகளைத்தரும்.

எக்ஸ்கதிர்கள் ஒரு படித்தானவை அல்ல எனில் அவற்றில் λ_1, λ_2.... அலைநீளங்கள் இருப்பதாகக் கொள்வோம். அப்படியாயின் தொடுகோணத்தை மாற்றி அமைக்கலாம். முதல் வரிசை நிறமாலையில் θ_1, θ_2....என்ற கோணங்களில் செறிவான கற்றைகள் கிடைக்கும்; இந்த கோணங்கள் $2d \sin\theta_1 = \lambda_1$, $(n=1)$; $2d \sin\theta_2 = \lambda_2$, $(n=2)$ என்பதற்கேற்ப அமையும். இதுபோலவே பிறவும். இரண்டாம் வரிசை நிறமாலையிலும் இதுபோன்றே அமையும். $2d \sin\theta = n\lambda$ என்பதே **பிராக விதி.**

ஏதாவதொரு படிகத்திற்கு d-யின் மதிப்பு தெரிந்தால், எக்ஸ் கதிர்களின் அலை நீளங்களை (இவை 2d-க்கு குறைவாயிருந்தால் தான்) நிர்ணயிக்கலாம். இது சார்பிலா முறையாகும். d-யை நிர்ண யிக்கும் முறை பின்னாலொரு பகுதியில் விளக்கப்பட்டுள்ளது.

4. 6.5. தொடர் நிறமாலையும் வரி நிறமாலையும்—எக்ஸ்கதிர் களின் தோற்றுவாய்

படம் 4-37-ல் விளிம்பு விளைவு பெற்ற எக்ஸ்கதிர்களின் செறிவுகள், தொடுகோணங்களின் சார்பாக இருப்பது காணப்படு கின்றது. இந்த வரைகோடு தொடர்ச்சியாக உள்ளது; அதனில் சில முக்கிய பெருமங்களும் காணப்படுகின்றன. ஆகவே எக்ஸ்கதிர்க் குழாயிலிருந்து கிடைக்கும் கதிர்வீச்சுகளில் இரண்டு வகைக ளிருப்பதாக முடிவு செய்யலாம். இவற்றிலொன்று தொடர் நிறமாலையைத் தருகிறது; மற்றொருவகை வரிநிறமாலையைத் தருகிறது.



படம் 4 - 37
தொடுகோணம்

குறைவான மின்னழுத்தம் குழாய்க்கு செலுத்தப்பட்டால், தொடர்நிறமாலை மட்டும் கிடைக்கிறது. இதனில் உள்ள அலைநீளங் களுக்குச் சிறுமவரம்பு இருப்பது தெரிகிறது. இச் சிறுமவரம்பு இலக்குப்பொருளின் தன்மையைச் சார்ந்ததல்ல; ஆனால் குழாயின் மின்னழுத்தத்தைச் சார்ந்தது. இந்த மின்னழுத்தத்திற்கு எலக்ட் ரான்கள் முடுக்கப்படுகின்றன. அலைநீளங்களின் சிறுமவரம்பு λm செலுத்தப்படும் மின்னழுத்தத்திற்கு எதிர்விகிதத்திலுள்ளது. இதற்குப் பின்வருமாறு விளக்கம் கூறலாம்:

விரைந்து செல்லும் எலக்டரானை இலக்கு தடுத்து தன் தளத்திலேயே நிறுத்திவிடுவதாகக் கொள்வோம். அப்பொழுது இலக்கினைத் தாக்கிய எலக்ட்ரானின் இயக்க ஆற்றல் முழுவதும் எக்ஸ்கதிர் போட்டானின் ஆற்றலாக மாறிவிடுகிறது என்று சொல்லலாம். இதுவே எக்ஸ்கதிர்களின் தோற்றுவாய் ஆகும்.

சிறப்பு எக்ஸ்கதிர்கள் (Characteristic X-rays)

ஒரு திண்மத்தை எக்ஸ்கதிர்கள் தாக்கும்பொழுது **இரண்டாம் நிலை எக்ஸ்கதிர்கள்** தோன்றுகின்றன. இரண்டாம் நிலை எக்ஸ் கதிர்களின் பெரும்பகுதி சிதறுண்ட முதல்நிலை எக்ஸ்கதிர்களே. அத்துடன் இலக்குப்பொருளின் இயல்புகளைக் காட்டும் எக்ஸ்கதிர் களும் தோன்றுகின்றன. இவையே இலக்குப் பொருளாக உள்ள தனிமத்தின் **சிறப்பு எக்ஸ்கதிர்கள்** ஆகும்.

ஒரு தனிமத்தை எக்ஸ்கதிர் குழாயில் இலக்குப் பொருளாக வைத்து அதனுடைய சிறப்பு எக்ஸ்கதிர்களைப் பெறலாம். சிறப்பு எக்ஸ்கதிர்களில் ஒரிரு அலைநீளங்கள் மட்டுமே உண்டு.

சிறப்பு எக்ஸ்கதிர் நிறமாலையானது தொடர்நிறமாலைமீது மேற்பொருந்தியுள்ளது. இவை படம் 4-37-ல் பெருமங்களாகத் தெரிகின்றன. சிறப்பு எக்ஸ்கதிர்களின் நிறமாலைகளில் நான்கு வரிசைகள் கண்டுபிடிக்கப்பட்டுள்ளன; இவை K, L M மற்றும் N என்ற வரிசைகளாகும்.

சிறப்பு எக்ஸ்கதிர்கள் உருவாக்கத்தைப் பின் வருமாறு விளக்கலாம்: எக்ஸ்கதிர்க் குழாயில் கேதோடிலிருந்து புறப்படும் எலெக்ட்ரான்கள் இலக்கினைத் தாக்கும் பொழுது இலக்குகளின் மையகத்தே (innermost) உள்ள எலெக்ட்ரான் கூடுகளிலிருந்து சில எலெக்ட்ரான்களை வெளியேற்றி அவ்வணுக்களைக் கிளர்ச்சியூட்டு கின்றன. அவ்வாறு எலெக்ட்ரான்கள் வெளியேற்றப்படுவதால் தோன்றும் காலி இடங்களைப் புறக் கூடுகளிலுள்ள எலெக்ட்ரான்கள் நிரப்புகின்றன. எனவே, புறக் கூடுகளில் காலியிடங்கள் தோன்று கின்றன. இவ்வாறாக கிளர்ச்சியுற்ற அணுக்கள் உயர்ந்த ஆற்றல் நிலையிலிருந்து குறைந்த ஆற்றல் நிலைக்கு மாற்றப்படுகின்றன. இதன் பயனாய் விளையும் உபரி ஆற்றலானது இலக்குத் தனி மத்திற்கே உரிய சிறப்பு எக்ஸ்கதிர்களாக வெளிவிடப்படுகிறது.

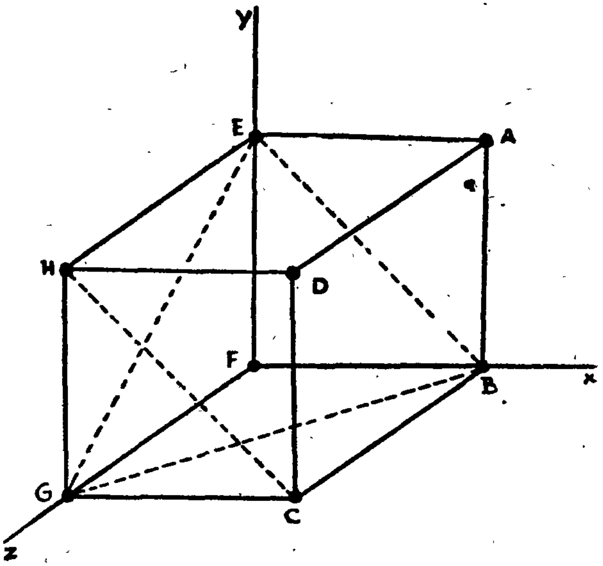
4. 6 .6. படிகக் கட்டுமானம் (Crystal Structure)

படிகங்களின் புறத்தே காணப்படும் சமச்சீர்லிருந்து அவற்றின் உள்ளேயும் சமச்சீர் இருக்கலாம் என ஊகிக்கிறோம். அகத்தே

யுள்ள அணிக்கள் (அல்லது மூலக்கூறுகள் அல்லது அயனிகள்) வரிசையாகவும் ஒழுங்குடனும் அமைகின்றன. அணுக்களின் (அல்லது மூலக்கூறுகளின் அல்லது அயனிகளின்) குறிப்பிட்ட ஒரு தொகுப்பு அலகுப்படிமம் அல்லது **யூனிட் செல்** (Unit Cell) என்று வழங்கப்படுகிறது. இப்படிப்பட்ட பல அலகுப்படிமங்கள் ஒரு படிகத்தினுள் வரிசையாக மீண்டும் மீண்டும் அடுத்தடுத்து அமைகின்றன. பல அலகுப்படிமங்கள் சேர்ந்திருப்பதே படிகம் எனப்படுவது.

படிகத்தினுள் ஒரு தளத்தை விருப்பம்போல தேர்ந்தெடுக்க இயலும்; இதனில் கூடுதலான அல்லது குறைவான எண்ணிக்கையில் அணுக்கள் (அல்லது மூலக்கூறுகள்) இருக்குமாறு தேர்ந்தெடுக்க லாம். இப்படிப்பட்ட தளங்களே **பிளவுறுதளங்கள்** அல்லது **அணிக்கோவைத் தளங்கள்** எனப்படுகின்றன.

4. 6. 7. மில்லர் எண்கள்



படம் 4-38
அணிக்கோவைத் தளங்கள்—மில்லர் எண்கள்

ஒரு படிகத்தின் மீது தகுந்த (எந்திரவியல்) அழுத்தம் செலுத்தப்பட்டால், அது சில குறிப்பிட்ட தளங்களில் தானாகவே உடையும். இந்தத் தளங்களே அணிக்கோவைத் தளங்கள் எனப் படும். ஒரு படிகத்தின் அணிக்கோவைத் தளங்களை மில்லர் எண் களால் சுட்டலாம். தெரிந்த மூன்று ஆயங்களில் ஒரு அணிக்கோவைத் தளம் வெட்டுகின்ற துண்டுகள் அளக்கப்படுகின்றன. இவை முறையே (a, b, c) என்க. இந்த வெட்டுத் துண்டுகளின் தலைகீழி களை ஒரு விகிதமாகச் சொன்னால் அது $\left(\frac{1}{a} : \frac{1}{b} : \frac{1}{c}\right)$ஆகும்.

இவையே அந்த தளத்திற்கான மில்லர் எண்கள்.

படம் 4-38-ல் ஒரு கனசதுரம் காணப்படுகிறது. X, Y, Z என்பன மூன்று ஆயங்கள். மூலைவிட்ட தளம் BGE-ஐச் கவனிக்க. அச்சுகளில் இதன் வெட்டுத் துண்டு (1, 1, 1) ஆகும். இவற்றின் தலைகீழிகளும் (1 : 1 : 1) என்ற விகிதத்தில் உள்ளன. எனவே தளம் BGE-க்கு மில்லர் எண்கள் (1, 1, 1) ஆகும். மற்றுமொரு தளம் BCHE-ன் வெட்டுத்துண்டுகள் (1, 1, ∞) ஆகும்; ஏனெனில் இது Z-ஆயத்திற்கு இணையாக உள்ளது. எனவே, BCHE-க்கு மில்லர் எண்கள் (1, 1, 0) ஆகும். ABCD என்ற தளம், Y மற்றும் Z ஆயங்களுக்கு இணையாக உள்ளது. எனவே ABCD -ன் மில்லர் எண்கள் (1, 0, 0,) ஆகும்.

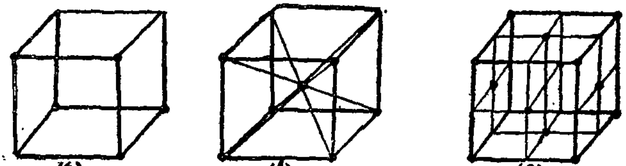
4. 6. 8. படிகக்கட்டமைப்பை நிர்ணயித்தல்

இதற்கான முறையை ஒரு எடுத்துக்காட்டு கொண்டு விளக்கு வதே சிறந்தது. இந்துப்பு (rocksalt) ப் படிகம் கன சதுர வடிவ முடையது. இதன் உள்ளேயும் சோடியம் அணுக்களும் குளோரின் அணுக்களும் கனசதுர அலகுப்படிமங்கள் உருவாக்கும் வகையில் அமைந்திருக்க வேண்டும். அல்லது, சோடியம் குளோரைடு மூலக் கூறுகளாகவேகூட இருக்கலாம்; அதுவுமல்லாமல் சோடியம் அயனி களும், குளோரின் அயனிகளும் அலகுப்படிமங்களை உருவாக்கலாம்

இந்த அமைப்பில் சோதனைக்காகத் தேர்ந்தெடுக்கும் பிளவுறு தளங்களின் இடைத்தொலைவு d-க்கும்கனசதுரத்தின் பக்கத்திற்கும் ஏதாவதொரு வகையில் தொடர் இருக்கும்.

கனசதுரப் படிகங்களில் அணிக்கோவைத் தளங்கள் பின்வரும் மூன்று வகைகளில் தேர்ந்தெடுக்கப்படலாம். இவையாவன :
1) கனசதுரத்தின் முகம், ABCD. இது(100) தளம் என்றழைக்கப்

படும். (2) BCHE என்ற வெட்டுமுகம் ; இதனை (110) தளம் என்பர். (3) மற்றொரு வெட்டுமுகம் BGE ; இதனை (111) தளம்



படம் 4-39

கனசதுரப் படிகங்களில் மூன்று வகைகள்

(a) எளிய கனசதுரம் (b) மையக் கனசதுரம் (c) முகமையக் கனசதுரம்

என்பர். இந்த மூன்று வகையிலும் அடுத்தடுத்த தளங்களின் இடைத்தொலைவுகளை முறையே d_{100}, d_{110}, d_{111} என்பர்.

கனசதுரப் படிகத்தின் கட்டுமானத்தில் அணுக்கள் (அல்லது மூலக்கூறுகள்) மூன்று வகையான அமைப்பு பெறலாம். இவை : (1) எளிய கனசதுரம் (4-39a) (2) மையக் கனசதுரம் (படம் 4-39b) (3) முகமையக் கனசதுரம் (படம் 4-39c). இந்த அமைப்புகள் ஒவ்வொன்றிற்கும் $\frac{1}{d_{100}} : \frac{1}{d_{110}} : \frac{1}{d_{111}}$ என்ற விகிதம் வெவ்வேறானது, எளிய கனசதுரத்திற்கு $1 : \sqrt{2} : \sqrt{3}$, மையக் கனசதுரத்திற்கு $1 : \frac{1}{\sqrt{2}} : \sqrt{3}$; முகமையக் கனசதுரத்திற்கு $1 : \sqrt{2} : \frac{\sqrt{3}}{2}$ என்பனவாம்.

இந்துப்புப் படிகத்தின் ஒவ்வொரு வகைப் பிளவுறு தளத்தையும் ஒன்றன்பின் ஒன்றாகப் பயன்படுத்தி சோதனை செய்யப்படுகிறது. இவை எக்ஸ் கதிர்களை முதல்வரிசை நிறமாலையாக 'எதிரொளிக்கும்' கோணங்கள் முறையே θ_1, θ_2, θ_3 என்க. பிராக் விதியின்படி $\lambda = 2d_{100} \sin\theta_1 = 2d_{110} \sin\theta_2 = 2d_{111} \sin\theta_3$.

எனவே $\frac{1}{d_{100}} : \frac{1}{d_{110}} : \frac{1}{d_{111}} : \sin\theta_1 : \sin\theta_2 : \sin\theta_3$.

எனவே பிளவுறு தளங்களுக்கிடையே உள்ள தொலைவுகளின் விகிதம் பெறப்படுகிறது. இதற்கு எக்ஸ் கதிரின் அலைநீள மதிப்பு தேவையில்லை.

தளம் (111)லிருந்து பெறப்படும் கற்றைகளில் ஒன்றுவிட்டு ஒன்றான வரிசை நிறமாலைகள் மற்றவற்றைவிட செறிவு குறைவாக உள்ளன. எனவே ஒன்றுவிட்டு ஒன்றான (111) தளங்களில் சோடியம் அணுக்கள் மட்டும் அல்லது குளோரின் அணுக்கள் மட்டும் இருக்க வேண்டும் என்ற முடிவு பெறப்படுகிறது. ஏனெனில், சோடியம் அணுவைவிட குளோரின் அணு எடை மிகுந்தது. ஆதலால் அது எக்ஸ் கதிர்களை அதிகமாகச் சிதறச் செய்யும். எனவே இந்துப்பின் அலகுப் படிமமானது கனசதுரமாகும் : இதன் மூலைகளில் மாறி மாறி சோடியம் அணுவும், குளோரின் அணுவும் அமைகின்றன. இந்துப்பில் d_{100}-ன் மதிப்பைப் பின்வருமாறு கணக்கிடலாம். உப்பினுடைய மூலக்கூறு எடை = M ; உப்பின் அடர்த்தி = ρ ; அவகட்ரோ எண் = N என்க.

அலகுப்படிமம் ஒன்றின் கன அளவு $= (d_{100})^3$

இதன் நிறை $= \rho (d_{100})^3$.

உப்பின் ஒரு மூலக்கூறு எடையில் உள்ள

மொத்த அயனிகள் = 2N,

எனவே அலகுப்படிமம் ஒன்றின் நிறை $= \frac{M}{2N}$.

ஆகவே $\rho\,(d_{100})^3 = \frac{M}{2N}$.

சோடியம் குளோரைடுக்கு $M = 23 + 35{\cdot}5 = 58{\cdot}5$

மற்றும் $\rho = 2{\cdot}17$; மேலும் $N = 6{\cdot}03 \times 10^{23}$

ஆகையால் $d_{100} = 2{\cdot}81 \times 10^{-8}$ செமீ $= 0{\cdot}281$ nm

எனப் பெறப்படுகிறது.

4.7. காமாக் கதிர்கள்

4.7.1 கதிரியக்கம்

கதிரியக்கத்தை **ஹென்ரி பெக்கொரல்** கண்டறிந்தார். சில குறிப்பிட்ட அணுக்களின் கருக்கள் தாமாகவே சிதைகின்றன ; அப்படிச் சிதையும் பொழுது ஆல்ஃபா, (α) பீட்டாத் (β) துகள்களையும், காமாக் (γ) கதிர்களையும் வீசுகின்றன. இதுவே **கதிரியக்கம்** எனப்படும். ஆல்ஃபா மற்றும் பீட்டாத்துகள்கள் மின்னூட்டம் பெற்றவை ; **காமாக்கதிர்கள் மீக்குறைவான அலைநீளமுடைய மின்காந்த அலைகளாகும்.**

மேற்சொன்னவாறு கதிரியக்கம் நிகழ்த்தும் தனிமங்கள் கதிரியக்கத் தனிமங்கள் எனப்படும். **யுரேனியம், ரேடியம்** போன்ற

தனிமங்கள் இயற்கையாகவே கதிரியக்கம் உடையவை. இயற்கையாகவே கதிரியக்கம் இல்லாத வேறுசில தனிமங்களில் கதிரியக்கத்தைத் தூண்டிவிடலாம். இது தூண்டப்பட்ட (அல்லது செயற்கை) கதிரியக்கம் எனப்படும் எடுத்துக்காட்டாக, **பொட்டாசியம்** அல்லது **கோபால்ட்** இயற்கையில் கதிரியக்கம் பெறவில்லை; இவற்றில் கதியரிக்கத்தைத் தூண்டிவிடலாம்.

α, β மற்றும் γ கதிர்களாவன கதிரியக்க அணுக்களின் கருக்களிலிருந்து தோன்றுகின்றன. எனவே கதிரியக்கமானது ஒரு அணுக்கரு நிகழ்வு ஆகும். ஒரு கதிரியக்க அணு ஒரு சமயத்தில் ஏதேனும் ஒரு துகளைத்தான் (α அல்லது β) உமிழும். இப்படி உமிழப்படும் துகளைப் பின்தொடர்ந்து காமாக்கதிர்களை வீசும். ஆல்ஃபா அல்லது பீட்டாத்துகளை உமிழ்ந்தபின் அணுக்கருவானது கிளர்ந்த நிலையில் உயர் ஆற்றலுடன் உள்ளது. உயர் ஆற்றல் உடைய நிலைமை எப்பொழுதுமே உறுதியற்றது ஆகையால் உபரி ஆற்றல் காமாக்கதிர்களாக வீசப்படுகிறது.

4. 7. 2. காமாக்கதிர்களின் பண்புகள்

1. காந்தப்புலமோ அல்லது மின்புலமோ காமாக்கதிர்களை பாதை விலக்குவதில்லை; ஆதலால் காமாக்கதிர்கள் மின்னூட்டம் பெற்றவையல்ல.

2. மீக்குறைவான அலைநீளமுடைய மின்காந்தக் கதிர் வீச்சுகளே காமாக்கதிர்களாகும். இவற்றின் அலைநீளங்கள் 10^{-14} முதல் 10^{-19} மீட்டர் வரையிலாகும். இவை எக்ஸ்கதிர் அலைநீளங்களைவிடக் குறைந்தவை.

3. காமாக்கதிர்கள் மின்காந்தக் கதிர்வீச்சுகளாதலால் அவை ஒளியின் திசைவேகத்துடன் பாய்கின்றன.

4. அவற்றின் மீக்குறைவான அலைநீளம் காரணமாக, காமாக்கதிர்கள் மிகுந்த ஊடுருவு திறன் உடையன. எக்ஸ்கதிர்கள், ஆல்பாக்கதிர்கள் மற்றும் பீட்டாக்கதிர்களின் ஊடுருவு திறனை விடக் காமாக்கதிர்களின் ஊடுருவு திறன் அதிகம்.

5. காமாக்கதிர்கள் வாயுக்களில் அயனியாக்கம் நிகழ்த்துகின்றன. ஆல்பாக்கதிர்கள் அல்லது பீட்டாக்கதிர்களுடன் ஒப்பிட்டால், காமாக்கதிர்களின் அயனியாக்கும் திறன் குறைவே.

6. காமாக்கதிர்கள் ஒளி படத்தகடுகளைப் பாதிக்கின்றன.

7 காமாக்கதிர் நிறமாலையானது வரிநிறமாலையாகும். எனவே காமாக்கதிர்கள் தனித்தனியான, குறிப்பிட்ட ஆற்றல்களை உடையன.

4. 7. 3. காமாக்கதிர் மூலங்கள்

இயற்கைக் கதிரியக்கமுடைய தனிமங்கள் காமாக்கதிர்களை வீசுகின்றன. இவற்றில் முக்கியமானவை **ரேடியம் - B, ரேடியம் - D** மற்றும் **தோரியம் - C** என்பன. காமாக்கதிர்களை வீசுகின்ற மற்றொரு முக்கியமான இயற்கை மூலம் **ரேடான்** வாயுவாகும்.

காமாக்கதிர்களை வீசுகின்ற செயற்கை மூலங்களும் உண்டு. 82 - க்கும் குறைந்த அணு எண் உடைய தனிமங்கள் இயற்கைக் கதிரியக்கம் உடையன அல்ல. ஆனால் மீ உயர் ஆற்றலுடைய துகள்கள், அத்தனிமங்கள் மீது மோதினால் அவையும் கதிரியக்கம் பெறுகின்றன. இவையே செயற்கைக் கதிரியக்கமுடைய தனிமங்கள் எனப்பட்டன. எடுத்துக்காட்டாக **ரேடியோ பாஸ்ஃபரஸ், ரேடியோ கார்பன்** மற்றும் **ரேடியோ - கோபால்ட்** என்பவற்றைக் கூறலாம். செயற்கைக் கதிரியக்கம் உடைய தனிமங்கள் அணு உலைகளில் தயாரிக்கப்படுகின்றன.

4. 7. 4. காமாக்கதிர்களின் பயன்கள்

மருத்துவம், வேளாண்மை, அறிவியல், தொழிலியல் மற்றும் உயிரியல் துறைகளில் காமாக்கதிர்கள் மிகுந்த பயன் தருகின்றன. ரேடியம் வீசுகின்ற காமாக்கதிர்கள் நோய் சிகிச்சையில் பயன்படுகின்றன. இவை கான்சர்நோய் மற்றும் சிலவகைக் கட்டிகளுக்கான சிகிச்சைக்கு உதவும். ரேடியம் குளோரைடு, ரேடியம் புரோமைடு, ரேடியம் சல்பேட் போன்ற உப்புகளில் ரேடியம் B அல்லது ரேடியம் D உள்ளது; துருப்பிடிக்காத எஃகு ஊசிகளில் அடைக்கப்பட்ட ரேடியம் உப்பு அல்லது ரேடான் வாயு மருத்துவத்தில் பயன்படுகிறது. தற்காலத்தில் கான்சர் நோய் சிகிச்சையில் ரேடியோ - கோபால்ட் (அதாவது கோபால்ட் - 60) பயன்படுகிறது. தைராய்டு சுரப்பிகள் அயடினை எளிதில் உட்கவர்கின்றன. ஆகையால் தைராய்டு-கான்சர் சிகிச்சையில் ரேடியம்-அயடின் பயன்படுகிறது. குருதியிலுள்ள சிவப்புசெல்களை ஆராய்வதில் ரேடியோ-குரோமியமும் குருதியோட்டத்தைப் பற்றிய ஆய்வில் ரேடியோ சோடியமும் பயன்படுகின்றன.

ரேடியோ-பாஸ்ஃபரஸ் வேளாண்மை ஆராய்ச்சிக்குப் பயன்படுகிறது. அது கலந்த உரத்தைப் பயிர்களுக்கு இட்டு, பயிர் உட்கொள்கின்ற உரத்தின் அளவு மதிப்பிடப்படுகின்றன. ஒளிச் சேர்க்கையில் தாவரங்கள் கார்பன் டையாக்சைடு வாயுவை எவ்வாறு

பயன்படுத்துகின்றன என்பதை அறிய உதவுகிறது. ரேடியோ-கார்பன். எலும்பு வளர்ச்சிக்குத் தேவையான கால்சியத்தை மதிப்பிட ரேடியோ- கால்சியம் துணை செய்கிறது.

கிடங்குகளில் உணவுப்பொருட்களைப் பாதுகாக்க அவை காமாக் கதிர் வீச்சுக்குட்படுத்தப்படுகின்றன. எனவே கிருமிகள் தொற்றிக் கொள்வது தடுக்கப்படுகிறது.

நோய்களை எதிர்க்கவும், பூச்சித்தாக்குதலைச் சமாளிக்கவும் எதிர்பாராத காலநிலை மாற்றங்களைத் தாங்கிக்கொள்ளவும் வல்லமை உடைய புதிய பயிர்வகைகள் கதிர்வீச்சு யுக்தியினால் (Irradiation technique) கண்டறியப்பட்டுள்ளன. இதே முறையில் விளைச்சலை அதிகமாகத்தரும் பயிர்களும் வளர்க்கப்பட்டுள்ளன.

கதிர்வீச்சு யுக்தியினால் சிலவகைப் பூச்சிகள் முற்றிலும் அழிக்கப்பட்டு விட்டன.

காமாக்கதிர் ஆய்வுகளிலிருந்து, அணுக் கருக்களின் அமைப்பு, அவற்றின் பண்புகள் ஆகியவற்றைப் பற்றி நாம் அறிகின்றோம். மிகச் சிக்கலான பல வேதியியல் வினைகளைப் பகுத்தாராய காமாக் கதிர்கள் உதவுகின்றன.

தொழிலியலிலும் காமாக்கதிர்கள் பயன்தருகின்றன; பெரிய கொதிகலன்களின் தடித்த சுவர்களில் குறைகளுள்ளனவா என்று காமாக்கதிர் வீச்சு காட்டவல்லது. மெல்லிய தாள் அல்லது ஏடு மெல்லிய எஃகுத்தகடு இவற்றின் தடிப்பை அளக்கவும் காமாக்கதிர்கள் பயன்படுகின்றன.

தொல்பொருள் ஆய்வுத்துறையில், பழங்கால நாகரிகங்களுக் குரியன என்று கருதப்படும் பல சிற்பங்கள், பாண்டங்கள் மற்றும் சிதிலங்களின் வயதை நிர்ணயிக்க ரேடியோ-கார்பன் உதவுகிறது.

4.8. மைக்ரோ அலைகள்

4. 8. 1. தோற்றம்

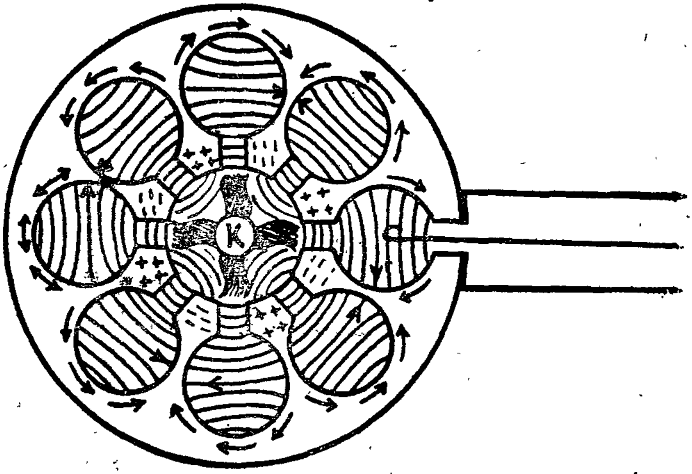
சுமார் 15 செமீ முதல் ஒரு சில மில்லிமீட்டர் வரை அலை நீளங்களுடைய மின்காந்த அலைகள் மைக்ரோ அலைகள் எனப்படு கின்றன. இவற்றின் அதிர்வெண்கள் 2000 மெகாஹெர்ட்சுக்கும் அதிகம். மேக்னட்ரான் (magnetron) என்ற சாதனத்தைக் கொண்டு மைக்ரோ அலைகள் தோற்றுவிக்கப்படுகின்றன.

இவற்றைத் தோற்றுவிக்க ரிஃப்ளெக்கஸ் கிளிஸ்ட்ரான் (reflex klystron), இயங்கு அலைக் குழாய் (travelling wave tube) போன்ற வேறு சாதனங்களுமுண்டு. இச்சாதனங்களின் அடிப்படைத் தத்துவங்களில் சிற்சில வேறுபாடுகளுண்டு. மேக்னட்ரான் செயல் படும் தத்துவம் அடுத்த பகுதியில் விவரிக்கப் படுகிறது.

4.8.2. மேக்னட்ரான்

படம் 4-40 காண்க. மேக்னட்ரான் ஒரு டையோடு குழாய் ஆகும். இதனில் நீண்ட மின்னிழை K உண்டு. இதனை அச்சாகக் கொண்ட உருளை வடிவ ஆனோடு A ஆகும்.

உருளை வடிவ ஆனோடில் பலதுளைகளும், பிளவுகளும் வெட்டப்பட்டுள்ளன. துளைகளை ஒத்ததிரும் பொந்துகள் (resonance cavities) என்பர்.



படம் 4-40
மேக்னட்ரான் தத்துவம்

ஆனோடுக்கும் கேதோடுக்கும் இடையில் மின்புலம் தோற்று விக்கப்படுகிறது. ஆனோடு நேர்மின்னழுத்தம் உடையது, ஆதலால் எலக்ட்ரான்கள் ஆரப்பாதைகளில் ஆனோடுக்குச் செல்கின்றன. காந்தப்புலம் ஒன்றும் உருளையின் அச்சுக்கு இணையாகத் தோற்று விக்கப்படுகிறது. காந்தப்புலமும், மின்புலமும் ஒருமித்து செயல்

படுகின்றன. இவற்றின் ஒருமித்த செயல்பாட்டினால் எலக்ட்ரான்கள் சுருள் வட்டப் பாதைகளில் விரைந்து செல்கின்றன. அதே சமயத்தில் காந்தப் புலத்தின் ஆட்சி காரணமாக எலக்ட்ரான்கள் முகில் கொத்துகளாகச் சேர்கின்றன. ஆனோடின் மையப் பொந்தினில் எலக்ட்ரான் கொத்துகள் அடங்கிய ஆரக்கால்கள் வலஞ்சுழியாகச் சுற்றி வருகின்றன. இந்த ஆரங்கள் சுழலும் பொழுது, சிறிய பொந்து களுக்கிடையேயான பாகங்களில் உள்ள கட்டற்ற எலக்ட்ரான்களை எதிர்த்து விலக்குகின்றன. எனவே, கட்டற்ற எலக்ட்ரான்கள் சிறு பொந்தினைச் சுற்றிலும் மாறி மாறி இடஞ்சுழியாகவும் வலஞ் சுழியாகவும் இயங்குகின்றன. எலக்ட்ரான்களின் அலைவுகள் காரணமாக ஆனோடின் பொந்துகளுக்கிடையேயுள்ள பாகங்கள் மாறி மாறி நேரினமாகவும் எதிரினமாகவும் ஆகின்றன. இதனால் பொந்து களிலும், பிளவுகளிலும் மாறுதிசை மின்புலங்களும், மாறுதிசை காந்தப்புலங்களும் தோன்றுகின்றன. இந்தப் புலங்கள், சில எலக்ட்ரான்களுக்கு முடுக்கமும், வேறுசில எலக்ட்ரான்களுக்கு எதிர் முடுக்கமும் தருகின்றன. எனவே எலக்ட்ரான்கள் கொத்து கொத்தாகின்றன.

பொது அச்சுக் கேபிளை (coaxial cable) அல்லது அலைவழிப் படுத்தியை (wave guide) ஏதாவது ஒரு பொந்துடன் இணைத்து அதனுள் மீஉயர் அதிர்வெண்ணில் அலைவுறும் புலங்களிலிருந்து ஆற்றலைப் பெறலாம்.

4. 8. 3. மைக்ரோ அலைகளின் பண்புகளும் அவற்றின் பயன்களும்

கட்புலனாகும் ஒளி அலைகளை அடுத்து, மைக்ரோ அலைகள் மிகக்குறைந்த அலைநீளங்களுடையனவாதலால் இவை மின்கடத்தும் தளங்களால் எளிதில் பிரதிபலிக்கப்படுகின்றன. இதே காரணத்தால் இவை நேர்கோட்டுப் பாதைகளில் செல்கின்றன.

மைக்ரோ அலை மின்னோட்டங்கள் (மீஉயர் அதிர்வெண்களுடையவை) சாதாரண கேபிள்களின் மெல்லிய புறப்பரப்பில் பாயும் தன்மையுடையன ; இவை சாதாரணக் கேபிளின் அச்சுப் பகுதிகளில் பாய இயலாது. எனவே மைக்ரோ அலை மின்னோட்டங்களுகக்கு பொது அச்சுக் கேபிள்கள் அல்லது அலைவழிப்படுத்திகள் பயன் படுத்தப்படுகின்றன.

புவி ஒரு நற்கடத்தி ; ஆதலால் அது ரேடியோ அலைகளை மெலியச் செய்யும். ரேடியோ அலைகளின் அதிர்வெண் அதிகமானால் மெலித்தலும் அதிகமாகும். ஆகவே மைக்ரோ அலைகள் சிறுதொலைவிலேயே மிகவும் மெலிந்துவிடும். ஆகையால் இவை

குறுந்தொலைவுத் தொடர்புக்கு (short distance communication) பயன்படுகின்றன. குறுந்தொலைவு ரேடியோத் தொலைப்பேசி இந்திய ரெயில்வேக்களில் பயன்படுகிறது. மைக்ரோ அலைகள் கம்பி வழித் தொலைப்பேசியிலும் பயன் தருகின்றன. பொது அச்சுக் கேபிள் களைத் தொலைபேசிக்குப் பயன்படுத்தினால் அவற்றில் சில நூறு தொடர்புகள் ஒரே சமயத்தில் பெற இயலும்.

அயனி மண்டலமானது மைக்ரோ அலைகளைப் பிரதிபலிப்ப தில்லை. மைக்ரோ அலைகள் அயனிமண்டலத்தைத் துளைத்துக் கொண்டு அப்பால் வானவெளிக்குள் செல்கின்றன. இதன் காரண மாக இவை வானவெளி ஆராய்ச்சியில் பயன்படுகின்றன. செயற்கைக் கோள்கள் அல்லது விண்வெளிக் கலங்களுடன் தொடர்பு கொள்ள மைக்ரோ அலைகளே உதவுகின்றன.

அயனி மண்டலத்தைத் துளைத்துச் செல்லும் மைக்ரோ அலை களை செயற்கைக் கோள்கள் பிரதிபலிக்க இயலும். எனவே செயற்கைக் கோள்கள் அல்லது விண்வெளிக் கலங்களுடன் தொடர்பு கொள்ள இயல்கிறது.

குறுந்தொலைவு டெலிவிஷனுக்கு மீ உயர் அதிர்வெண் அலைகள் பயன்படுகின்றன ; ஆனால் செயற்கைக் கோள் வழியாக நெடுந் தொலைவிற்கு டெலிவிஷன் காட்சி பெற மைக்ரோ அலைகள் உதவுகின்றன.

ரேடார், வானவியல் ஆராய்ச்சி என்ற இரண்டு துறைகளிலும் மைக்ரோ அலைகள் நேர்கோட்டுப் பாதையில் செல்கின்றன; அவற்றைப் பிரதிபலிக்கலாம் என்ற பண்புகளினாலேயே மேற் சொன்ன பயன்களில் பெரும்பாலானவை எழுகின்றன.

அறிவியலில், மூலக்கூறுகளின் கட்டமைப்பை ஆராய்வதற்கு மைக்ரோ அலைகள் பயன்படுகின்றன. இத்துறை மைக்ரோ அலை நிறமாலையியல் (microwave spectroscopy) எனப்படும்.

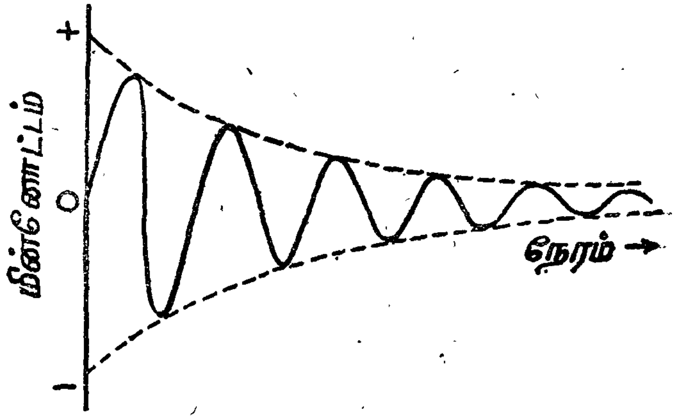
4. 9 ரேடியோ அலைகள்

4. 9. 1.

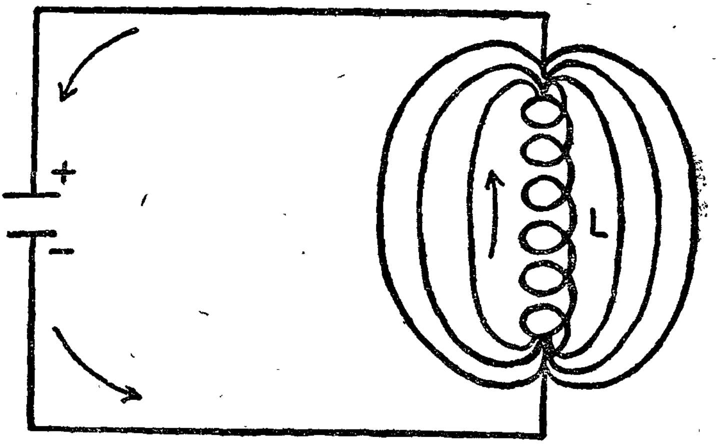
மிகவேகமாக செய்திகளனுப்புவது ரேடியோ. ரேடியோச் சைகைகள் (ரேடியோச் செய்திகள்) ஒளியின் திசைவேகத்தில் செல் கின்றன. செய்தியை அனுப்புபவரையும், பெறுபவரையும் இணைக்கக் கம்பி ஏதும் தேவையில்லை ; எனவே ரேடியோத் தொடர் பைக் கம்பிலாத் தொடர்பு (wireless) என்றும் அழைப்பதுண்டு. கம்பி தேவைப் படாததால் காட்டிலும் மேட்டிலும், கடலிலும் ரேடியோ

பயன்படுகிறது. ஒளி அலைகளைப் போலவே ரேடியோ அலைகளும் மின்காந்த அலைகளேயாகும்.

4. 9. 2. ரேடியோ அலைகளைத் தோற்றுவித்தல் — அலைவுறு சுற்று.



படம் 4 - 41a
அலைவுறு சுற்று



படம் 4. - 41b
தடையுறு அலைவுகள்

அலைவுறு சுற்றின் முக்கிய பாகங்கள் மின்நிலைமமும், மின் தேக்கியுமாகும் (படம் 4-41a). படத்தில் காண்பதுபோல, தொடக்

கத்தில் மின்தேக்கியில் மின்னூட்டங்கள் இருக்குமானால், கீழ்த்தகட்டிலுள்ள உபரி எலக்ட்ரான்கள் இடஞ்சுழியாகச் சுற்றில் பாய்கின்றன. இவை மேல் தகட்டிலுள்ள நேர் மின்னூட்டங்களைச் சமனம் செய்கின்றன. அவை பாயும்பொழுது, மின்நிலைமத்தைச் சுற்றிலும் காந்தப்புலம் தோன்றுகிறது. நேர் மின்னூட்டங்கள் சமனம் செய்யப்பட்டவுடன் எலக்ட்ரான் மின்னோட்டம் குலையத் தொடங்குகிறது ; சுற்றினைச் சூழ்ந்துள்ள காந்தப்பாயமும் குறைகிறது ; இதனால் மின்னோட்டம் இன்னும் சிறிது நேரத்திற்கு அதே திசையில் பாய்கிறது. எனவே காந்தப்புலம் மறைந்து மின்னோட்டமும் நின்றவுடன் மேல்தகடு உபரியாக எலக்ட்ரான்களைப் பெற்றிருக்கிறது. இவ்வாறு மின்தேக்கி மீண்டும் மின்னூட்டம் பெற்றுவிடுகிறது.

மின் தேக்கியிலுள்ள மின்னூட்டம் தற்பொழுது நேரெதிராக மாறியுள்ளது. ஆகையால் மேலே சொன்ன நிகழ்வுகள் அனைத்தும் மீண்டும் ஆனால் வலஞ்சுழியாக நிகழும். எனவே சுற்றில் மின்னோட்டம் முன்னும் பின்னுமாக அலைகிறது.

சுற்றில் மின்தடை சிறிதளவாவது உண்டு ; எனவே சிறிது சிறிதாக மின்னாற்றல் வீணாகிறது. ஆகையால் மின்னோட்ட வலிமை குறைந்துகொண்டே வருகிறது. அலைவுச் சுற்றில் மின்னோட்டம் மெல்ல மெல்லக் குறைவதைப் படம் 4-41(b) காட்டுகிறது. இவையே தடையுறு அலைவுகளாகும். சுற்றில் மின்தடை அதிகமெனில் மின்னோட்டம் விரைவில் சுழியாகிவிடும். மின்தடை குறைவானால் மின்னோட்ட வலிமையும் மெல்லக் குறைகிறது.

சுற்றில் பாயும் மின்னோட்ட அலைகளின் அதிர்வெண்,

$$n = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

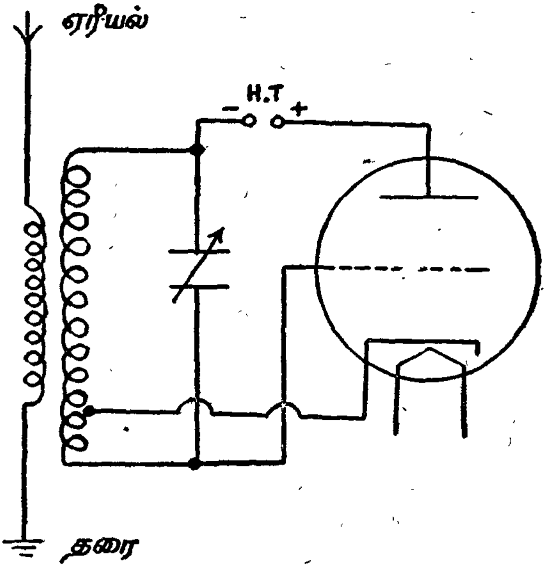
என்ற வாய்பாட்டிலிருந்து பெறப்படும். இங்கு மின்நிலைமம் ஹென்றி அலகிலும் மின் தேக்குதிறன் (C) ஃபாரட் அலகிலும் அமையுமாயின் அதிர்வெண் ஹெர்ட்ஸ் அலகில் அமையும்.

4. 9. 3. தடையுறா அலைவுகள் — வால்வு அலையியற்றி

படம் 4-41 (a)-ல் காணப்படும் சுற்று அலைவுறு சுற்று அல்லது தொட்டிச் சுற்று (tank circuit) எனப்படும் ஒரு டிரயோடு வால்வைப் பயன்படுத்தி, தொட்டிச் சுற்று அலைவுகளின் வீச்சு குறையாமல் செய்ய இயலும். இதுவே வால்வு அலையியற்றி எனப்படுவது. இதன் அமைப்பு படம் 4-42 ல் காணப்படுகிறது.

தொட்டிச் சுற்றில் ஏற்படும் அலைவுகள் டிரயோடு குழாயின் கிரிடுக்குச் செலுத்தப்படுகின்றன. இந்த டிரயோடின் வெளியீட்டில் ஒருபகுதி மீண்டும் கிரிடுக்குச் செலுத்தப்படுகிறது. இதையே பின்னூட்டம் (feedback) என்பர். பின்னூட்டம் தகுந்த கட்டத்திலும் தகுந்த வீச்சுடனும் நிகழ வேண்டும். இவ்வாறு தொட்டிச் சுற்றில் மின்தடையால் ஏற்படும் ஆற்றல் இழப்பு, பின்னூட்டத்தால் ஈடு செய்யப்படுகிறது. எனவே வால்வின் வெளியீடு, மாறாத வீச்சுடன் இருக்கும். இவ்வாறு வால்வு அலையியற்றுகிறது.

(ஊஞ்சலில் ஆடுகின்ற சிறுவன், உந்தி உந்தி, ஊஞ்சலைமாறா வீச்சுடன் அலைய வைப்பதை இங்கு வால்வு அலையியற்றியுடன் ஒப்பிட்டுப் பார்க்க)



படம் 4 - 42
வால்வு அலையியற்றி

4.9.4. ரேடியோ அலைகள்

ஒரு ஏரியலுக்குத் தன் மின்நிலைமமும் (L), தன் மின்தேக்குதிறனும் (C) உண்டு. ஆகவே அதுவும் L-C சுற்றாகச் செயல்படும். தொட்டிச் சுற்றின் அலைவுகள் ஏரியலுக்கு ஊட்டப்பட்டால், ஏரியலிலும் அலைவுகள் தோன்றும். இந்த அலைவுகளின் ஆற்றலில் ஒரு பகுதி மின்காந்த அலைகளாக வெளியிடத்தில் வீசப்படுகின்றது.

10^{-4} மீட்டர் முதல் 10^{6} மீட்டர் வரை அலைநீளமுடைய மின்காந்த அலைகள் ரேடியோ அலைகள் எனப்படும்.

4. 9. 5. வானொலி—ஒலிபரப்பு

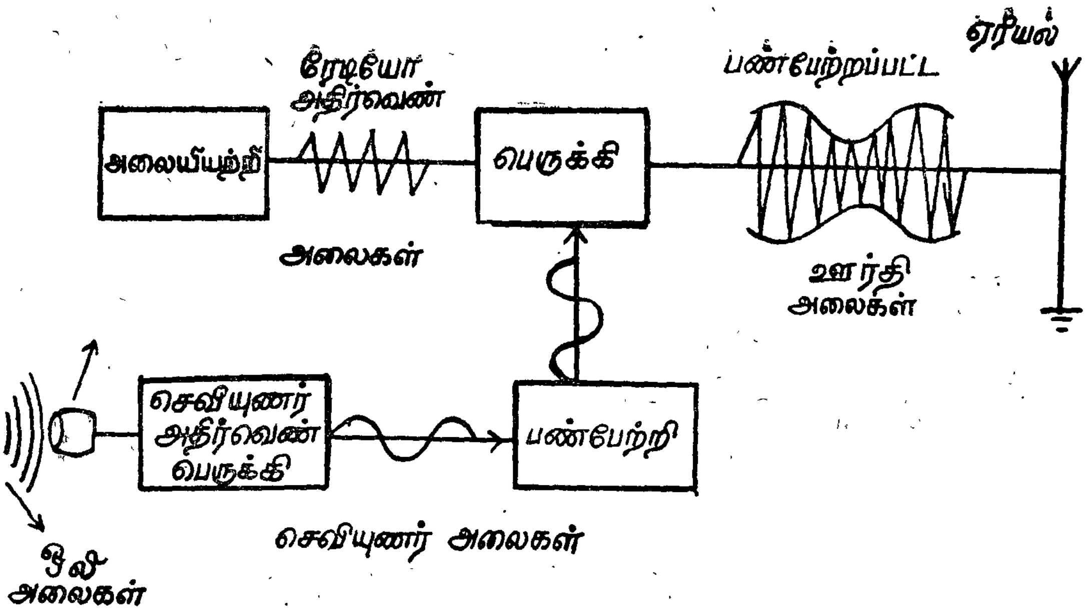
ரேடியோ அலைகள் ஒலி அலைகளைச் சுமக்குமாறு செய்யலாம் அப்பொழுது அவை **ஊர்தி அலைகள்** எனப்படும். ஒலி அலைகள் காற்றில் பரவும்பொழுது மிகச் சீக்கிரமாக மெலிந்துவிடும். ஆகையால் அவை நெடுந்தொலைவை எட்ட இயலாது. மேலும் ஒலி அலைகளின் திசைவேகமானது மின்காந்த அலைகளின் திசைவேகத்தைவிட மிகமிகக் குறைந்தது.

ஒலி அலைகள் அவற்றின் அதிர்வெண்ணுடைய மின்னியல் அலைவுகளாக மாற்றப்படுகின்றன. இந்த மின்னியல் அலைவுகள் AF நெடுக்கத்தில் (audio-frequency range) உள்ளன. பின்னர் இவை ஊர்தி அலைமீது சுமத்தப்படும். ஊர்தி அலைமீது AF அலைவுகளைச் சுமத்துதல் **அலைப் பண்பேற்றம்** (modulation) எனப்படும். அலைப் பண்பேறிய ஊர்தி அலைகள் ஒளியின் திசைவேகத்துடன் பரவுகின்றன.

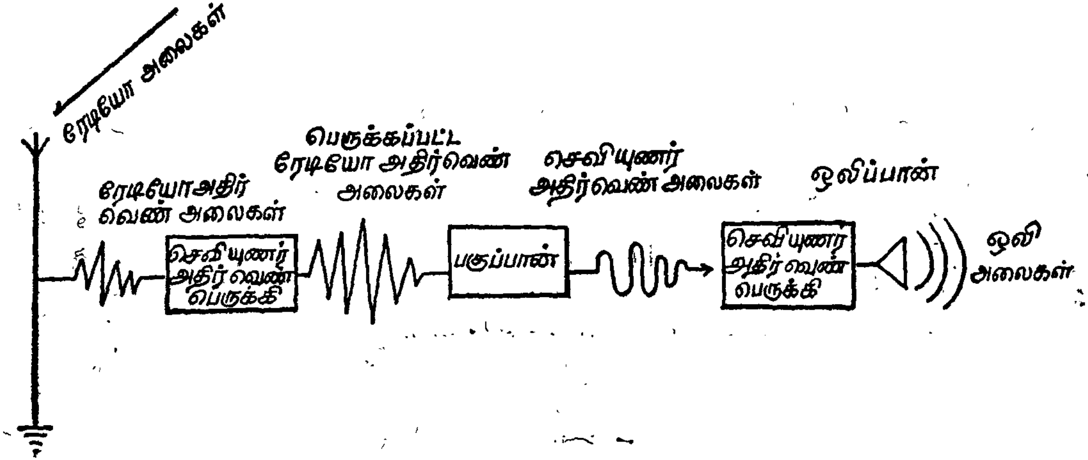
ஊர்தி அலைகள் ஏற்பி ஏரியலை அடையும்பொழுது ஏரியலில் மின்னோட்ட அலைவுகளை ஏற்படுத்துகின்றன. ஊர்தி அலையின் அதிர்வெண்ணும், அது ஏற்படுத்தும் மின்னோட்டத்தின் அதிர்வெண்ணும் சமமானவை. இந்த மின்னோட்ட அலைவுகள் பெருக்கம் செய்யப்பட்டு அவற்றிலிருந்து AF அலைவுகள் பிரித்தெடுக்கப்படுகின்றன. ஊர்தி அலையிலிருந்து AF அலைவுகளைப் பிரித்தல் என்ற செயல் **அலைப்பண்பிறக்கம்** (demodulation அல்லது detection) எனப்படும். இதற்குப் பின் ஊர்தி அலைவுக்குப் பயனில்லை; அது நீக்கப்பட்டு விடுகிறது. AF அலைவுகள் மட்டும் பெருக்கம் செய்யப்பட்டு ஒலிப்பானுக்குச் செலுத்தப்படுகின்றன. ஒலிப்பானில் மின்னியல் அலைவுகள் மீண்டும் ஒலி அலைகளாக மாற்றப்படுகின்றன. மேற்சொன்ன கருத்துகள் படங்கள் 4-43 மற்றும் 4-44-ல் காணப்படுகின்றன.

4.9.6 ரேடியோ அலைகளின் பயன்கள்

பலவகையான தொடர்புகளுக்கு ரேடியோ அலைகள் பயன்படுகின்றன. இத்தொடர்புகளில் சில, நெடுந்தொலைவுத் தொடர்பு, குறிப்பிட்ட இடங்களிடையே தொடர்பு, வானொலி, கப்பல்களின் அபாயச் சைகைகள், போலீஸ் கண்காணிப்பு, கடல்கடந்த தொலைப்பேசி, ஆகாய விமானப் போக்குவரத்து, கடல்வழிப் போக்குவரத்து ஆகும். மற்றும் ரேடாரிலும், டெலிவிஷன் எனப்படும் தொலைக்காட்சியிலும் இவை பயன்படுகின்றன.



படம் 4 - 43
வானொலி ஒலிபரப்பு

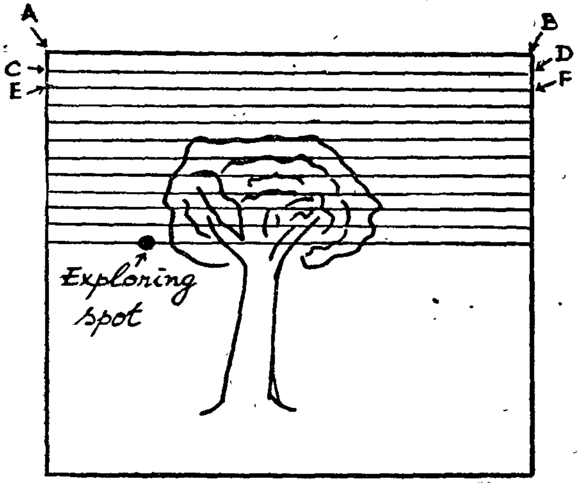


படம் 4 - 44
ரேடியோ ஏற்பு

4.9.7. டெலிவிஷன்

10 முதல் 1 மீட்டர் வரை அலைநீளங்களுடைய ரேடியோ அலைகள் தொலைக்காட்சியில் பயன்படுகின்றன. 1 மீட்டர முதல் 1 செமீ. வரையான அலைநீளங்கள் தொலைக்காட்சி அஞ்சலில் (television relay) பயன்படுகின்றன.

ஒலி அலைகள் மின்னியல் அலைவுகளாக மாற்றப்படுவது போலவே, ஒரு காட்சியிலிருந்து பெறப்படும் ஒளியும் மின்னியல் அலைவுகளாக மாற்றப்படவேண்டும். டெலிவிஷன் காமிராவில் ஒரு திரை உண்டு. இத்திரையின் மீது காட்சியின் பிம்பம் விழுகிறது. **வரிக் கண்ணோட்டம்** (scanning) என்ற முறையில் பிம்பமானது மின்னியல் அலைவுகளாக மாற்றப்படுகிறது. பிம்பத்தின் தலைப்பில் ஒடி எலக்ட்ரான் கற்றை விழுகிறது (படம் 4-45).



படம் 4-45
டெலிவிஷன் வரிக்கண்ணோட்டம்

கற்றையின் இந்த முனையைத் துழாவு முனை (exploring spot) என்பர். துழாவு முனை பிம்பத்தின் இடது தலைப்பு மூலையில் தொடங்கி இடமிருந்து வலமாக, வரிவரியாக பிம்பம் முழுவதிலும் நகர்கிறது. ஒரு வரியின் வலது கோடியை அடைந்தவுடன் அது இடது கோடிக்கு விரைந்து மீண்டு, அடுத்த வரியைத் தொடங்குகிறது. இந்த வரிகள் AB, CD, EF....ஆகும். இந்தச் செயலே வரிக் கண்ணோட்டம் எனப்படும்.

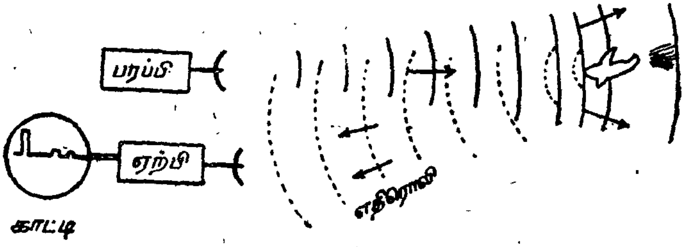
திரையின் மீது துழாவுமுனை விழும்போது அதனுடன் இணைந்த ஒரு மின்தடையில் மின்னோட்டம் தோன்றுமாறு திரை

அமைக்கப்பட்டுள்ளது. துழாவுமுனை தொடுகின்ற புள்ளியின் பொலிவு அதிகமெனில் மின்னோட்டமும் அதிகமாக ஏற்படும். பொலிவு குறைவெனில் மின்னோட்டமும் குறையும். இவ்வாறு பெறப்படும் மாறுமின்னோட்டம் பெருக்கம் செய்யப்பட்டு ஊர்தி அலைக்கு அலைப் பண்பேற்றம் செய்கிறது.

டெலிவிஷன் ஏற்பியில் (television receiver) ஒரு எலக்ட்ரான் கற்றை உண்டு. இதன் முனையை வரைமுனை (reproducing spot) என்பர். இது ஏற்பியிலுள்ள ஒளிர் திரையில் காட்சியை வரைகிறது. இந்த எலக்ட்ரான் கற்றையின் செறிவு, ஏற்பி ஏற்கின்ற அலையின் வீச்சுக்கு நேர்விகிதத்தில் இருக்கும். எனவே வரைமுனையின் பொலிவும் ஏற்கப்படும். அலையின் வீச்சுக்கு நேர்விகிதத்தில் இருக்கும். டெலிவிஷன் காமிராவில் உள்ள துழாவு முனையும் டெலிவிஷன் ஏற்பியிலுள்ள வரைமுனையும் இயைந்து செயல்படு மாறு யுக்திகள் கையாளப்படுகின்றன.

4. 9. 8. ரேடார்

ரேடியோ அலைப் பிரதிபலிப்பைக் கொண்டு, தொலைவில் ஏதேனும் பொருள் உள்ளதா என்று கவனிப்பதுடன் அப்பொருளின் தொலைவு, அதன்திசை, அதன்இயக்கம் இவற்றையும் நிர்ணயிப்பது ரேடார் ஆகும். 'Radio Detection And Ranging' என்ற ஆங்கிலச் சொற்றொடரின் முதல் எழுத்துகளைக் கொண்டு உருவானதே 'RADAR' என்ற பெயர்.



படம் 4-46
ரேடார் தத்துவம்

ரேடார் கருவியில் மூன்று முக்கிய அங்கங்கள் உண்டு. இவை அலைபரப்பி, அலை ஏற்பி மற்றும் காட்டி என்பனவாம். படம் 4-46 காண்க. அலைபரப்பி குறிப்பிட்ட திசையில் ரேடியோ அலைகளை அல்லது மைக்ரோ அலைகளைத் துடிப்புகளாக வீசுகிறது. இத்துடிப்புகள் ஒளியின்திசை வேகத்தில் பரவுகின்றன. இத்துடிப்புகளின் ஒரு பகுதியை தொலைவிலுள்ள பொருள் பிரதிபலிக்கிறது

பிரதிபலிக்கப்பட்ட பகுதி ரேடார் நிலையத்தை நோக்கி வருகிறது. இதனை ஏற்பியானது ஏற்று, பெருக்கம் செய்து காட்டிக்கு அனுப்பு கிறது. காட்டியானது சிறப்பாக அமைந்த ஒரு கேதோடு கதிர் குழாய் ஆகும். இக்குழாயின் திரையில் தெரியும் பிம்பத்திலிருந்து பொருளின் தொலைவு, திசை, திசைவேகம் ஆகியவற்றை அறிய லாம்.

வீசப்படும் துடிப்பினுடைய பிம்பம், பிரதிபலிக்கப்பட்ட துடிப் பின் பிம்பம் இரண்டுமே காட்டியின் திரையில் தெரியும். இந்த பிம் பங்களின் இடைத் தொலைவிலிருந்து பொருளின் தொலைவு கணிக் கப் படலாம். காட்டியின் திரையில் எந்த ஆரத்தில் இரண்டு பிம்பங் களும் தோன்றுகின்றனவோ அந்த ஆரத்தின் திசை பொருளிருக்கும் திசையாகும். பொருளானது ரேடார் நிலையத்தை நெருங்கினால் பிரதிபலிக்கப்பட்ட துடிப்பின் அதிர்வெண் அதிகமாகியிருக்கும்; அதுவே நிலையத்திலிருந்து விலகிச் சென்றால், அதிர்வெண் குறை வாகியிருக்கும். இந்த அதிர்வெண் மாற்றத்தை நிர்ணயித்து பொரு ளின் திசைவேகத்தைக் கணக்கிடலாம்.

விமானங்களைக் கண்டறிய மட்டுமல்லாமல், மேகங்கள், சூறா வளிகள், புயல்கள் இவற்றைக் கண்டறியவும், காலநிலையை முன் னுரைக்கவும் மற்றும் ரேடியோ வானியலிலும் ரேடார் பயன்படுகிறது.

கேள்விகள்

1. ஒளிவிலகல் நிகழ்த்தும் கோளக தளத்தின் வளைவு ஆரத்தின் குறி பற்றிய மரபு என்னவென்று எழுதுக.
2. ஒளிவிலகல் நிகழ்த்தும் வளைதளத்தின் திறனுக்கான கோவையை எழுதுக.
3. ஒளிவிலகல் நிகழ்த்தும் வளைதளத்தின் திறன் நேர்க்குறி யாவது எப்பொழுது?
4. ஒளிவிலகல் நிகழ்த்தும் வளைதளத்தின் திறன் எதிர்க்குறி யாவது எப்பொழுது?
5. படம் 4-4-ல் புள்ளி P-ல் லென்சு உள்ளபொழுது புள்ளி S-ல் திரைக்குப் பதிலாக ஒரு சமதள ஆடியை வைக்க. நீங்கள் காண்பது என்ன? அதனை விளக்குக.
6. படம் 4-2 ஐ ஒரு குழிலென்சுக்கு ஏற்ப மாற்றி வரைக.
7. மெல்லிய குழிலென்சுக்கு ஏற்ப சமன்பாடு (11)-ஐத் தருவிக்க.
8. ஒரு மெல்லிய லென்சினுடைய குவியத் தொலைவு எவ்வெவற் றைச் சார்ந்துள்ளது?

9. ஒரு மெல்லிய லென்சின் வுளைதளங்களின் வளைவு ஆரங்களும், கண்ணாடியின் ஒளிவிலகல் எண்ணும் தெரிந்தவை. அந்த லென்சின் குவியத் தொலைவுக்கான வாய்பாட்டைத் தருவிக்க.

10. ஒரு லென்சின் பரிமாற்றுப் புள்ளிகளை வரையறுக்க.

11. ஒரு லென்சின் திறன் என்பதென்ன?

12. ஒன்றையொன்று தொட்டிருக்கும் லென்சுகளின் கூட்டமைப்பின் திறனைக் கணக்கிட உதவும் நியதியைக் கூறுக.

13. ஒரு குவிலென்சின் குவியத்தொலைவை நிர்ணயிக்கும் இரு நிலை முறையை விவரிக்க.

14. அதிகுவியத்தொலைவு குவிலென்சின் குவியத்தொலைவை நிர்ணயிக்கும் எளிய முறையை விவரிக்க.

15. அதிகக் குவியத் தொலைவு உடைய குவிலென்ஸ் ஒன்றின் குவியத்தொலைவை அதனைத் தொடாதவாறமைந்த துணை லென்ஸ் ஒன்றின் உதவியால் நிர்ணயிக்கும் முறையை விவரிக்க.

16. ஒரு குழி லென்சின் குவியத் தொலைவை அதனுடன் சேர்ந்தமைந்த துணைலென்ஸ் ஒன்றின் உதவியால் நிர்ணயிக்கும் சோதனையை விவரிக்க.

17. ஒரு குழிலென்சின் குவியத்தொலைவை நிர்ணயிக்க அதனை சேர்ந்தமையா துணைலென்சைப் பயன்படுத்தும் முறையை விவரிக்க.

18. குவிலென்சையும் சமதள ஆடியையும் பயன்படுத்தி குழிலென்சின் குவியத் தொலைவை நிர்ணயிக்கும் முறையைக் கூறுக.

19. இருபுறமும் புடைத்த குவிலென்சின் தளங்களின் வளைவு ஆரங்களை நிர்ணயிப்பதற்கான பாய்சு முறையை விவரிக்க.

20. சிறிதளவே கிடைக்கும் திரவத்தின் ஒளி விலகல் எண்ணை நிர்ணயிக்கும் முறையை விவரிக்க.

21. மெல்லிய குழிப்பிறை லென்ஸ் ஒன்றின் வளைவு ஆரங்கள் 0·2 மீ மற்றும் 0·25 மீ. அதனுடைய குவியத் தொலைவைக் கணக்கிடுக.

22. கண்ணாடியாலான இருபுறமும் புடைத்த குவிலென்சின் வளைவு ஆரங்கள் 0·10 மீ, 0·15 மீ ஆகும். அது நீரினுள் $\left(\mu = \frac{4}{3}\right)$ வைக்கப்பட்டுள்ளது. நீரினுள் அதன் குவியத் தொலைவைக் கணக்கிடுக.

23. ஒரு குவிலென்சின் குவியத் தொலைவு 0·10 மீ. ஒரு குழிலென்சின் குவியத் தொலைவு 0·08 மீ இவற்றினிடையே தொலைவு 0·10மீ. உள்ளபொழுது அக்கூட்டமைப்பின் குவியத் தொலைவைக் கணக்கிடுக.

24. ஒரு லென்சிலிருந்து 0·30 மீ தொலைவிலுள்ள புள்ளியை நோக்கி ஒளிக்கற்றை ஒன்று குவிகிறது. அது லென்சினால் ஒளிவிலகல் அடைந்தபின் லென்சிலிருந்து 0·50 மீ தொலைவிலுள்ள புள்ளியில் குவிகிறது. லென்சின் குவியத் தொலைவைக் கணக்கிடுக. அது குவிலென்சா அல்லது குழிலென்சா?

25. ஒரு பொருளிலிருந்து முறையே 0·35 மீ, 0·45 மீ தொலைவுகளில் ஒரு குவிலென்சும், ஒரு குழிலென்சும் உள்ளன. லென்சுகளின் பொது அச்சின்மீது பொருள் உள்ளது. லென்சுகளின் குவியத் தொலைவுகள் +0·10 மீ, —0·08 மீ ஆகும். பிம்பத்திற்கும் அதற்கு அருகாமையிலுள்ள லென்சுக்கும் இடைத் தொலைவு என்ன?

26. இருபுறமும் புடைத்த குவிலென்சு பாதரசத்தின்மீது மிதக்கிறது. இதன் குவியத்தொலைவு 0·20 மீ லென்சுக்கு மேலே 0·105 மீ உயரத்தில் வைக்கப்பட்ட குறிமுள் தன்னுடைய பிம்பத்துடன் ஒன்றுகிறது. பாதரசத்தைத் தொட்டிருக்கும் தளத்தின் வளைவு ஆரம் என்ன? கிடக்கையான சமதள ஆடி மீது சில துளிகள் திரவம் விடப்பட்டு அதன்மீது லென்சு வைக்கப்படுகிறது. இந்த லென்சுகளின் கூட்டமைப்பின் குவியத் தொலைவு 0·30 மீ எனில் திரவத்தின் ஒளிவிலகல் எண்ணைக் கணக்கிடுக.

27. ஒளியின் திசைவேகம் வாயிலாக ஒரு ஊடகத்தின் ஒளி விலகல் எண்ணை வரையறுக்க.

28. ஃபியூகோ முறையில் ஆடியின் சுழல்வேகம் அதிகரித்தால், பிம்பத்தின் இடப்பெயர்ச்சி அதிகரிக்குமா அல்லது குறையுமா?

29. ஃபியூகோ முறையில் நிலையாக உள்ள மற்றும் சுழலும் ஆடிகளுக்கிடையில் நீர் நிறைந்த குழாய் வைக்கப்படுகிறது. இதனால் ஏற்படும் விளைவு என்ன? இதனிலிருந்து ஊகிக்கின்ற முடிவு என்ன?

30. ஒளியின் திசைவேகத்தை அளக்கும் ஃபியூகோ சுழலாடி முறையை விவரிக்க.

31. ஒளியைப் பற்றிய கொள்கைகளில் இருந்த கருத்து வேற்று பாட்டினை ஃபியூகோ சோதனை எவ்வாறு தீர்த்தது?

32. ஒளியின் திசைவேகம் இயற்பியலில் முக்கிய இடம் வகிப்பதேன் என்பதை சுருக்கமாகக் கூறுக.

33. ஒளியானது நீரைவிடக் கண்ணாடியில் வேகமாகப் பாய்கிறதா? மெல்லப் பாய்கிறதா? விளக்குக.

34. ஒளியானது 1 மிமீ தடிப்புடைய கண்ணாடித் தகட்டினைக் கடக்க ஆகும் நேரத்தைக் கணக்கிடுக. கண்ணாடியின் ஒளி விலகல் எண் = 1·5. . காற்றில் ஒளியின் திசைவேகம் $=3\times10^{8}$ மீ செ$^{-1}$

35. வரையறு: அலையியக்கத்தின் அதிர்வெண், அலைநீளம்.

36. ஹைஹென்ஸ் இரண்டாம் நிலை அலைகள் என்பவை எவை?

37. அலைமுகப்பு என்பதற்கு இலக்கணம் கூறுக.

38. ஹைகென்ஸின் அலைமுகப்பு நிர்மாணம் என்பதை விளக்குக.

39. அலைக்கொள்கை வாயிலாக எதிரொளிப்புக்கு விளக்கம் தருக.

40. அலைக்கொள்கை வாயிலாக ஒளிவிலகலுக்கு விளக்கம் தருக.

41. ஒரு ஊடகத்தின் மாறுநிலைக்கோணம் - வரையறு.

42. ஒரு ஊடகத்தின் மாறுநிலைக் கோணத்திற்கும், அதன் ஒளி விலகல் எண்ணுக்குமான தொடர்பு என்ன?

43. அலைக் கொள்கை வாயிலாக. முழு அக எதிரொளிப்புக்கு விளக்கம் தருக.

44. டாப்ளர் விளைவு என்பதென்ன?

45. நிற்கின்ற பார்வையாளரை ஒரு ஒளிமூலம் நெருங்குகிறது. அந்த மூலம் தரும் ஒளியின் அலைநீளத்தின் தோற்றவியல் மாறுபாட்டிற்கான வாய்பாடு என்ன?

46. டாப்ளர் விளைவின் பயன்கள் இரண்டு கூறுக.

47. முழு அக எதிரொளிப்பு நிகழத் தேவையான இரண்டு நியதிகள் யாவை?

48. ஒரு இரயில் வண்டியின் வேகம் 120 கிமீ/ம. அதனுடைய ஊதலின் அதிர்வெண் 400 ஹெர்ட்சு. இரயில் வண்டியை நோக்கும் நிலையான ஆய்வாளர் ஒருவர் கேட்கின்ற ஒலியின் அதிர்வெண் என்ன? (காற்றில் ஒலியின் திசைவேகம் 350 மீ/செ$^{-1}$)

49. வைரத்தின் மாறுநிலைக்கோணம் 24° 36′. அதன் ஒளிவிலகல் எண்ணைக் கணக்கிடுக.

50. கண்ணாடியில் பாய்கின்ற ஒளிக்கதிர் கண்ணாடியின் தளத்திற்கு இணையாக ஒளிவிலகல் அடைந்து காற்றிலேகுகிறது. கண்ணாடியினுள் படுகோணத்தின் மதிப்பு யாது? (கண்ணாடியின் $\mu = 1{\cdot}54$).

51. இரண்டு அலைத் தொடர்களிடையே 'பாதை வேறுபாடு' என்பதை வரையறுக்க.

52. இரண்டு அலைகள் நாசக் குறுக்கீடு விளைவிக்கின்றன. இவற்றிடையே பாதை வேறுபாடு என்ன ?

53. பாதை வேறுபாட்டுக்கும், கட்ட வேறுபாட்டுக்கும் உள்ள தொடர்பு என்ன ?

54. அலைகளின் 'மேற்பொருத்தல் தத்துவம்' என்பதைக் கூறுக.

55. ஒளியின் குறுக்கீட்டு விளைவு என்பதென்ன ?

56. ஒளியின் குறுக்கீட்டு விளைவு ஏற்பட முக்கிய நியதிகள் எவை ?

57. யங் இரட்டைப் பிளவு சோதனையை விவரிக்க.

58. குறுக்கீட்டு வரிகள் என்பவை எவை ?

59. குறுக்கீட்டு வரிகளின் முக்கிய பண்புகள் யாவை ?

60. குறுக்கீட்டு வரிகளின் அகலத்திற்கான கோவையைப் பெறுக

61. சோப்புக் குமிழி மீது சூரிய ஒளி படும்பொழுது தெரிகின்ற நிறங்களை எளிமையாக விளக்குக.

62. நியூட்டன் வளையங்கள் என்பன எவை ?

63. நியூட்டன் வளையங்களை அலைக் கொள்கையின் அடிப்படையில் விளக்குக.

64. விளிம்பு விளைவு என்பதென்ன ?

65. ஒளியின் விளிம்பு விளைவு எளிதில் புலப்படாத காரணம் என்ன ?

66. அரை - அலைவு நேர மண்டிலங்கள் என்பன யாவை ?

67. நேர்விளிம்பு ஏற்படுத்தும் விளிம்பு விளைவுப் பாங்கத்தை விவரிக்க.

68. குறுக்கீட்டு வரிகளையும், விளிபும் விளைவு வரிகளையும் ஒப்பிடுக.

69. மெல்லிய பிளவு ஒன்று ஏற்படுத்தும் விளிம்பு விளைவுப் பாங்கத்தை விவரிக்க.

70. சமதளக் கீற்றணி என்பதென்ன ?

71. சமதளக் கீற்றணிக்குப் பொருந்தும் $\sin\theta = Nm\lambda$ என்ற தொடர்பைப் பெறுக.

72. சமதளக் கீற்றணியைப் பயன்படுத்தி ஒளியின் அலை நீளத்தை நிர்ணயிக்கும் சோதனையை விவரிக்க.

73. ஒளியின் தளவிளைவு என்பதென்ன?

74. ஒருதளவிளைவு பெற்ற ஒளியின் 'அதிர்வுதளம்' என்பதை வரையறுக்க.

75. ஒருதள விளைவுற்ற ஒளியின் 'தளவிளைவுத்தளம்' என்பதை வரையறுக்க.

76. ஒருதள விளைவுற்ற ஒளியைப் பகுப்பாய்வு செய்யும்பொழுது தோன்றும் செறிவு மாற்றங்களை விவரிக்க.

77. ஒருதள விளைவை எதிரொளிப்பினால் எவ்வாறு ஏற்படுத்தலாம் ?

78. 'தளவிளைவுகோணம்' - இதனை வரையறுக்க.

79. இரட்டை விலகல் என்பது என்ன?

80. இரட்டை விலகலின் பண்புகள் யாவை?

81. இரட்டை விலகல் ஏற்படுத்தும் படிகத்தின் 'ஒளியியல் அச்சு என்பதற்கு இலக்கணம் கூறுக.

82. தளவிளைவாக்கி என்பதென்ன?

83. பகுப்பான் என்பதென்ன?

84. போலராய்டு என்பதென்ன?

85. ஒரு போலராய்டின் அமைப்பை விவரிக்க.

86. போலராய்டின் பயன்கள் சிலவற்றைக் கூறுக.

87. எக்ஸ்கதிர்களைத் தோற்றுவிப்பதில் அடிப்படைத் தத்துவம் என்ன ?

88. கூலிட்ஜ் குழாயின் அமைப்பை விவரிக்க.

89. எக்ஸ்கதிர் குழாயில் இலக்குப் பொருளாகப் பயன்படும் உலோகம் உயர்ந்த உருகுநிலையுடையதாக வேண்டும். ஏன் ?

90. வன் எக்ஸ்கதிர்கள் என்பவை எவை ? மென் எக்ஸ் கதிர்கள் என்பவை எவை ?

91. கூலிட்ஜ் குழாயைப் பயன்படுத்துவதில் இரண்டு ஆதாயங்கள் எவை ?
92. எக்ஸ்கதிர்களின் பண்புகளைக் கூறுக.
93. எக்ஸ்கதிர்களின் விளிம்பு விளைவை ஆராயப் படிகங்களைப் பயன்படுத்துவது ஏன் ?
94. பிராக் விதியைக் கூறுக.
95. பிராக் விதியைத் வருவிக்க.
96. எக்ஸ்கதிர்கள் விளிம்பு விளைவுக்குட்படும் பொழுது பெறப்படும் நிறமாலையை விவரிக்க.
97. எக்ஸ்கதிர்களின் தோன்றுவாயைச் சுருக்கமாகக் கூறுக.
98. சிறப்பு எக்ஸ்கதிர்கள் என்பன என்ன ?
99. சிறப்பு எக்ஸ்கதிர்களின் தோற்றுவாயைச் சுருக்கமாகக் கூறுக.
100. 'அணிக்கோவைத் தளம்' என்பது என்ன ?
101. மில்லர் எண்கள் என்பவை எவை ?
102. பிளவுறு தளங்களுக்கிடையே உள்ள தொலைவு என்பது என்ன ?
103. இந்துப்புப் படிகத்தின் பிளவுறு தளங்களுக்கிடையே உள்ள தொலைவுகளின் விகிதத்தை எவ்வாறு நிர்ணயிக்கலாம் ?
104. இயற்கைக் கதிரியக்கம் என்பதென்ன ?
105. செயற்கைக் கதிரியக்கம் என்பதென்ன ?
106. இயற்கைக் கதிரியக்கத்தில் வீசப்படும் துகள்கள் எவை ?
107. காமாக் கதிர்கள் துகள்களா ? அலைகளா ?
108. காமாக்கதிர்களின் தோற்றுவாயை விளக்குக.
109. காமாக்கதிர்களின் பண்புகள் சிலவற்றைக் கூறுக.
110. காமாக்கதிர்களை வீசும் சில இயற்கை மூலங்களைக் கூறுக.
111. காமாக்கதிர்களை வீசும் சில செயற்கை மூலங்களைக் கூறுக.
112. காமாக்கதிர்களின் மருத்துவப் பயன்கள் சிலவற்றைக் கூறுக.
113. வேளாண்மை ஆராய்ச்சியில் காமாக்கதிர்களின் பயன்கள் சிலவற்றைக் கூறுக.
114. இயற்பியல் மற்றும் வேதியியல் மாற்றங்களால் கதிரியக்கம் பாதிக்கப்படவில்லை. ஏன் ?
115. மைக்ரோ அலைகளின் அலைநீள நெடுக்கம் யாது?
116. ரேடியோ ஒலிபரப்பில் மைக்ரோ அலைகள் பயன்படுவதில்லை. ஏன் ?

117. அயனிமண்டலம் மைக்ரோ அலைகளைப் பிரதிபலிக்கிறதா ?

118. மைக்ரோ அலைகளைப் பயன்படுத்தி உலகம் முழுவதுடனும் தொடர்புகொள்ள செயற்கைக் கோள்கள் எவ்வாறு உதவுகின்றன ?

119. மைக்ரோ அலைகளைப் பயன்படுத்தி தொலைத் தொடர்பு பெறும் துறைகள் யாவை ?

120. அலைவுச் சுற்றில் அலைவுகள் எவ்வாறு தோன்றுகின்றன என்று விவரிக்க.

121. தடையுறா அலைவுகளைத் தோற்றுவிக்கும் யுக்தி என்ன ?

122. ஊர்தி அலை என்பதென்ன ?

123. அலைப் பண்பேற்றம் என்பதென்ன ?

124. அலைப் பண்பிறக்கம் என்பதென்ன ?

125. டெலிவிஷனில் வரிக்கண்ணோட்டம் என்பது என்ன ?

126. ரேடாரின் தத்துவத்தைச் சுருக்கமாகக் கூறுக.

127. ரேடாரின் அமைதிக்கால பயன்கள் சில கூறுக.

தமிழ்நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனம்

கற்க கசடற